杨振宁文集

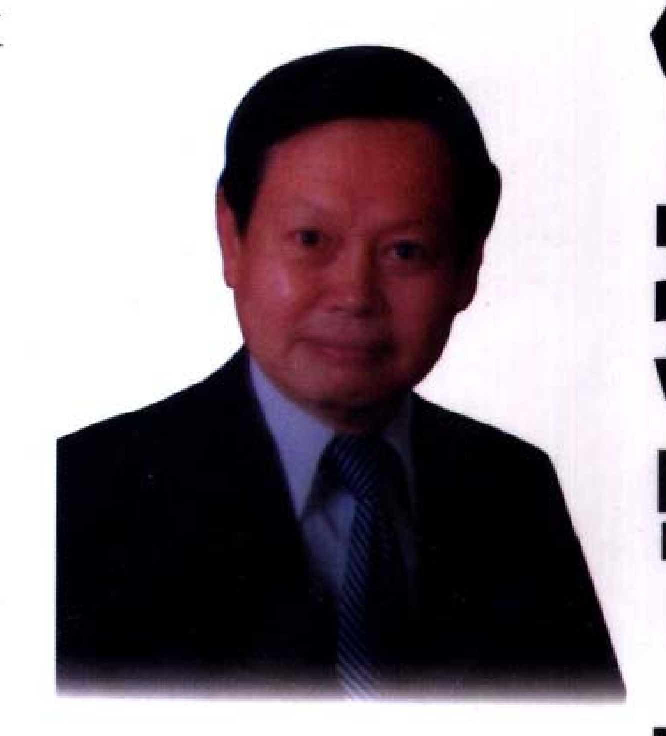
Yangzhenning Wenji

(上)

Yangzhenning Wenji

传记 演讲 随笔

假如今天曾先生问我，你觉得你这一生最重要的贡献是什么？我会说，我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用。



Yangzhenning Wenji

华东师范大学出版社

杨振宁文集

Yangzhenning Wenji



假如今天曾先生问我，你觉得你这一生最重要的贡献是什么？我会说，我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用。

Yangzhenning Wenji

（下）

Yangzhenning Wenji

传记 演讲 随笔

华东师范大学出版社

杨振宁文集

传记 演讲 随笔

上

华东师范大学出版社

杨振宁文集

传记 演讲 随笔

下

华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

杨振宁文集:传记、演讲、随笔/(美)杨振宁著;张奠宙编选.—上海:华东师范大学出版社,1998.4(2000重印)

ISBN 7-5617-1757-1

Ⅰ.杨… Ⅱ.①杨… ②张… Ⅲ.杨振宁-文集 Ⅳ.C53

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第38571号

责任编辑 陈长华

封面设计 高 山 黄惠敏

杨振宁文集

杨振宁 著

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路3663号 邮政编码200062)

新华书店上海发行所经销

上海新文印刷厂印刷

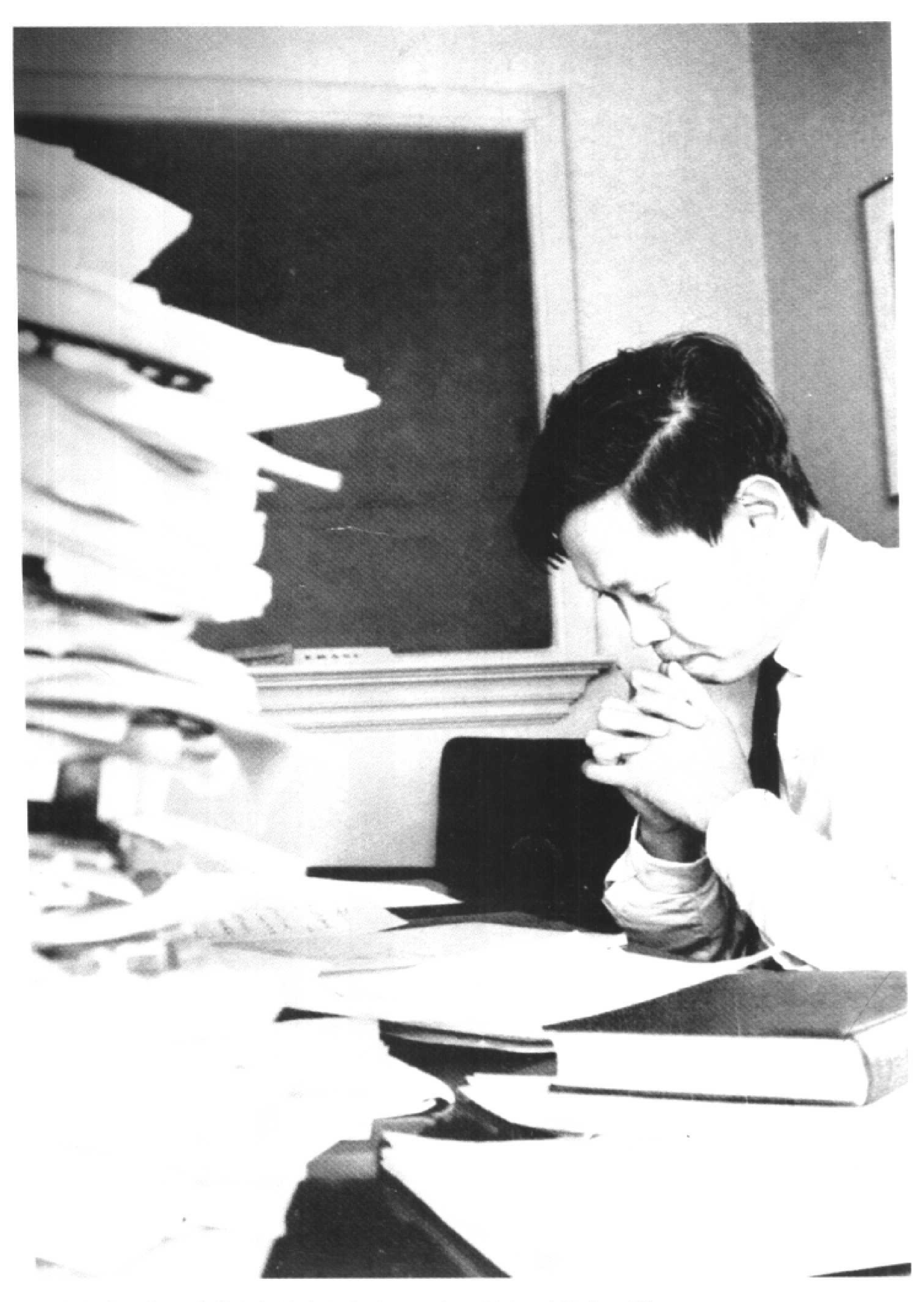
开本880×1230 1/32 印张34.5 插页30页 字数825千字

1998年4月第1版 2000年3月第2次印刷

印数5001—9500本

ISBN 7-5617-1757-1/Z·008

定价60.00元(上下册)



1. 杨振宁，摄于普林斯顿的办公室（1963年，Richard Kelley摄）。



2. 杨振宁、10个月时与父母摄于合肥四古巷故居（1923年）。

Autumn Quarter, 1923

Membership signatures.

	姓名	Name (English)	Course of study	Province
1	沈有乾	Eugene Shen	Psychology	江苏
2	薩本棟	Penting Sah	Mechanical Engineering	福建
3	方重	Roland C. Fang	Literature	江苏
4	[illegible]	[illegible]	Medicine	湖南
5	[illegible]	[illegible]	Medicine	松香山
6	祁志厚	Chi Chih Ho	Education	綏遠
7	譚護	[illegible]	Politics	廣東
8	楊亮功	L. K. Yang	Anwhei	安徽
9	全增嘏	T. K. Chuan	Philosophy	浙江
10	曹[illegible]	John Hock How	Electrical Engineering	廣東
11	楊克純	K. C. Yang	Mathematics	安徽
12	謝文秋	Hsieh Wen Ching	Literature	湖北
13	[illegible]	Shihi L. [illegible]	Education	山東
14	崔宗塤	Tsong-Hsun Tsui	Political Science	河南
15	陳金[illegible]	Gumdock Chan	Medicine	廣東
16	韓永大	Yung [illegible]	Medicine	[illegible]
17	鄭[illegible]和	Cheng, T[illegible]	Education	安徽
18	吳[illegible]	Chin Chuan Wu	Chemical engineering	江蘇
19	黄[illegible]	Huang, Ching-Sze	Education	安徽
20	王[illegible]凱	Wang, Chu Kai	Education	福建
21	彭[illegible]	[illegible]	Education	江西
22	陳[illegible]	Shen Kwan Chen	Political Science	[illegible]
23	曹[illegible]	Tsao, [illegible] Ping	Eco.	[illegible]
24	鄧[illegible]	Teng, [illegible] Kao	Philosophy	甘肅
25	郝耀東	Hao, Yao-Tung	Edu.	陝西
26	[illegible]	[illegible]	Chemical Engineering	廣東
27	趙德[illegible]	Henry Doc foo Chew	Medicine & Zoology	廣東
28	黄洪[illegible]	Wong Hung Chau	Chemical Engineering	[illegible]
29	齊國樑	Kuo Liang Chi		直隸
30	臧[illegible]芳	[illegible] Fang Tsi		浙江

3. 斯坦福大学1923年秋“中国会”名单与签名页。第11人杨克纯（字武之）是杨振宁的父亲。

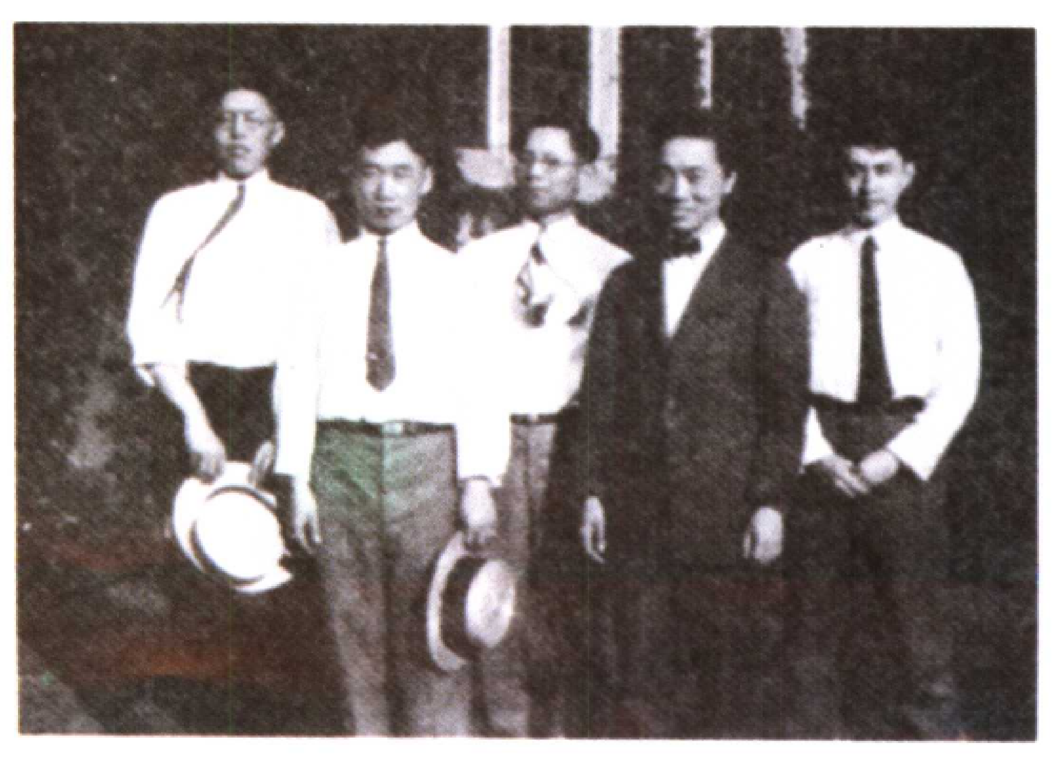




4. 斯坦福大学1924年年刊上的照片。上图第二排左起第6人是杨克纯(K.C.Yang)。下图为旧金山华侨捐钱盖的小楼。

5. 杨克纯，摄于芝加哥大学（1925年）。





6. 左起：吴有训、夏少平、蔡翘、潘菽、杨克纯，摄于芝加哥大学（1925年前后）。

7. 杨振宁，摄于合肥（1926年）。





8. 杨振宁，与母亲摄于合肥（1927年前后）。



9. 杨振宁，与父母亲摄于厦门（1929 年）。

10. 杨振宁，摄于厦门鼓浪屿日光岩（1929 年）。





11. 左起：郑志清、郑师拙、杨振宁，摄于清华园西院 34 号（1931 年）。

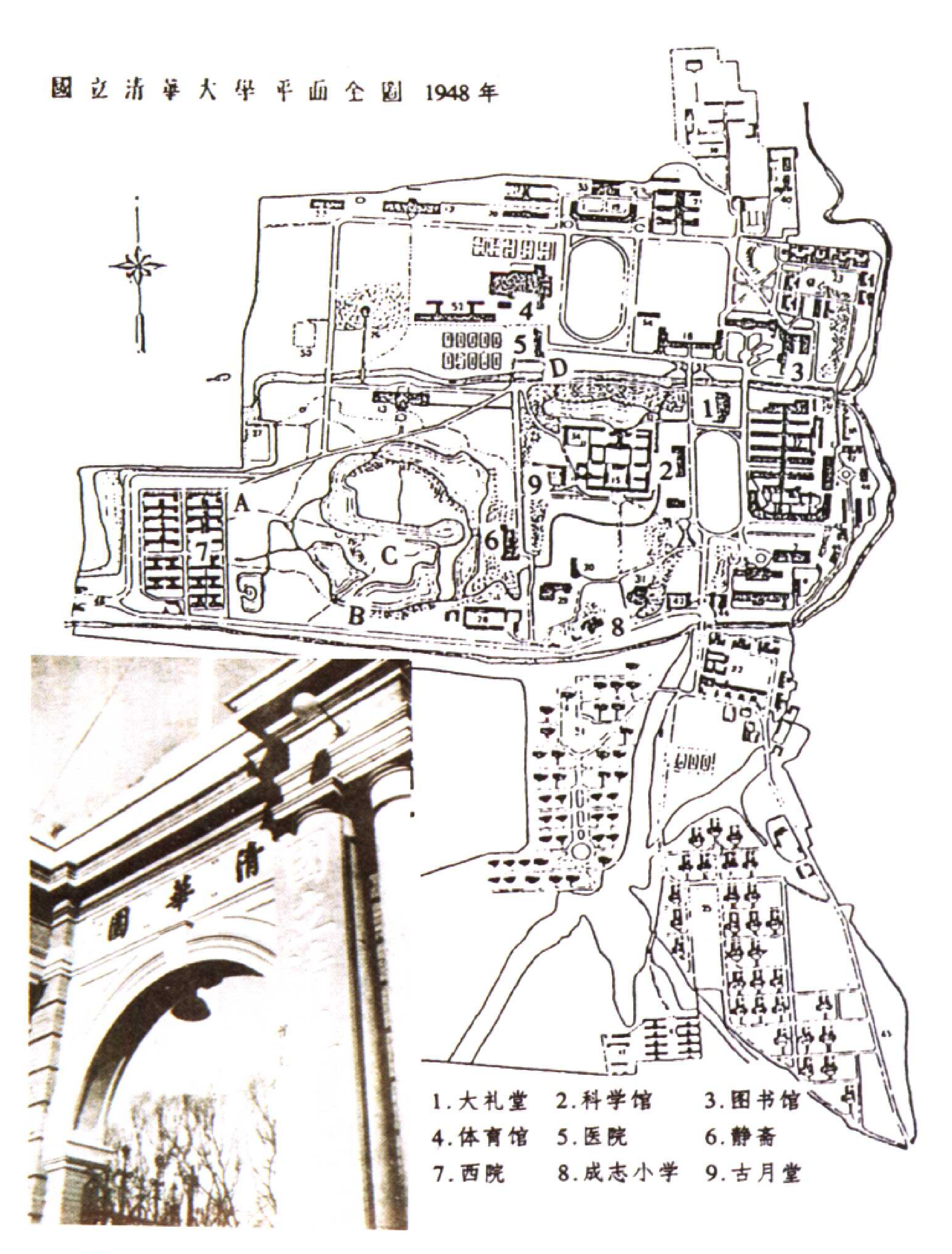
民國廿四年四月廿一日攝於清華園之家中時年十二歲有半。

振寧似有異稟，吾欲字以伯瓌

廿四、四、廿一于北平　武之



12. 杨振宁，摄于清华园西院 11 号，时年十二岁半（1935 年）。照片背面的题字，左为杨武之手书，右为杨振宁所写。



13. 北平清华大学校门（1930年代）。国立清华大学平面图（1948年）。



14. 清华大学50年代新建的大楼。



准考證

統昆字第　　號考生業經審查合格准予在昆明應考本科壹年級此證

試場：第　試場

座位：第　號

日期：

國立各院校昆明招生委員會辦事處

廿七年度

發給

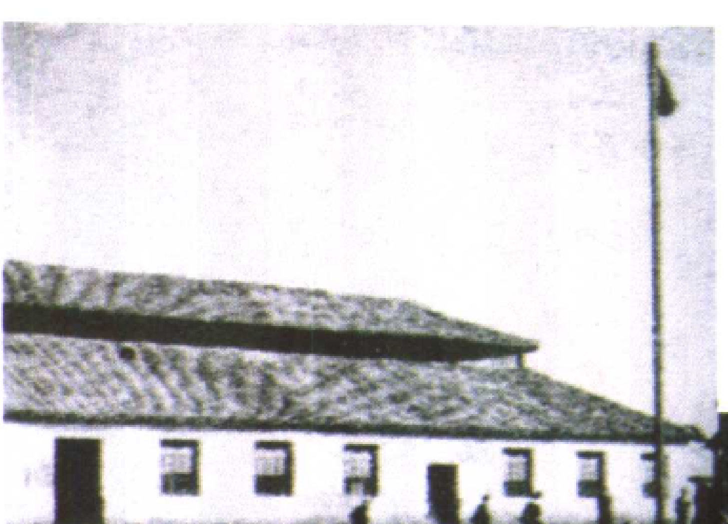
15. 报考大学时的准考证（1938 年）。



16. 读大学时的杨振宁（1939）。



17. 西南联大新校舍北区教室群（1941年前后）。



18. 西南联大大图书馆（1941年前后）。



19. 西南联大新校舍北区宿舍（1941年前后）。

准攷證

留美[illegible]字第 2062 號考生楊振寧業經審查合格准予應考第六屆留美公費生 [illegible] 門此證

日期：中華民國卅二年八月十七日

國立清華大學
留美公費生
考試委員會

20. 报考第六届留美公费生的准考证（1943年）。

國立清華大學第六屆考選留美公費生揭曉公告

(甲)錄取名單:

西洋史—何炳棣,社會學—李志偉,
會計學—黎祿生,師範教育—樊星南,
醫學—黃果,製藥學—王積濤,
造林學—吳中倫,農具製造—吳仲華,
數學—鍾開萊,物理學—楊振寧,
動物學—凌寧,植物病理學—方中達,
礦物學—張炳熹,氣象學—郭曉嵐,
道路工程—錢鍾毅,造船工程—張燮,
機械製造—白家祉,原動力工程—黃茂光,
電機工程—曹建猷,無線電學—洪朝生,
航空工程—沈申甫,化學工程—張建侯,

附註:農學與紡織二門因成績未符標準名額暫閣

(乙)注意事項:

(一)凡錄取各生應暫仍在原機關服務留待後信各生住址如有更改望即通知本校教務處

(二)本錄取各生所繳證件除已由本校轉送中美庚款董事會者另由該會發還外可憑該件收據領還如須郵遞望附足掛號郵資。

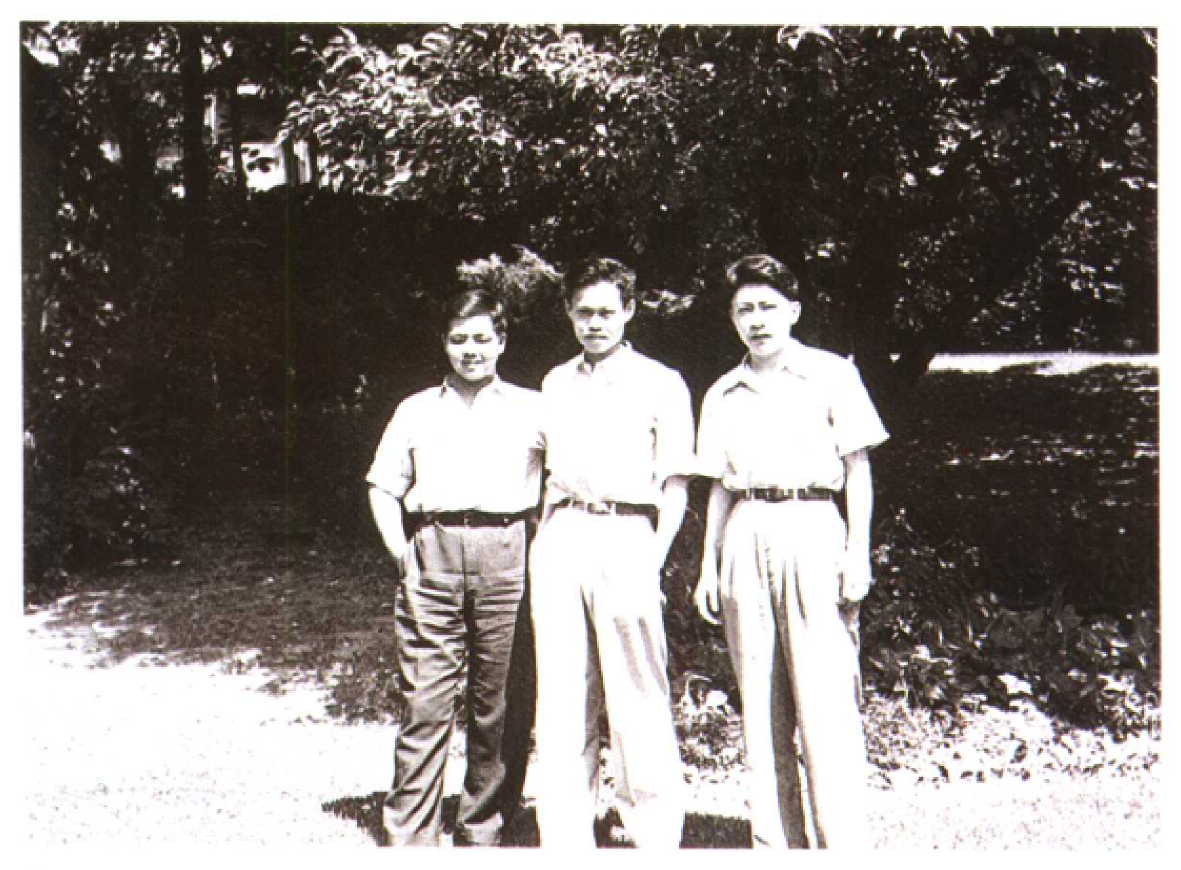
21. 清华第六届留美公费生录取名单(1944年)。



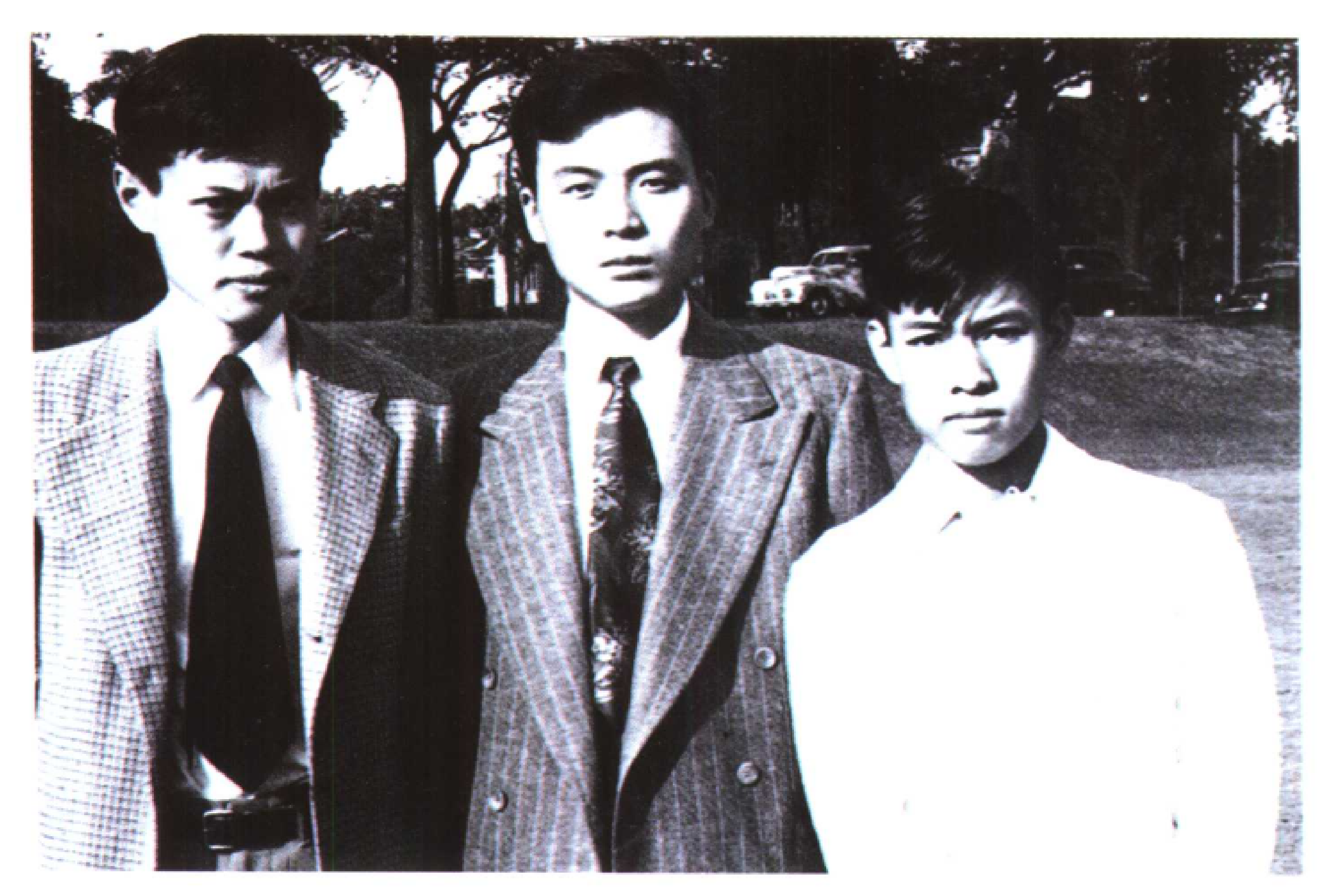
22. 杨振宁,摄于1945年。



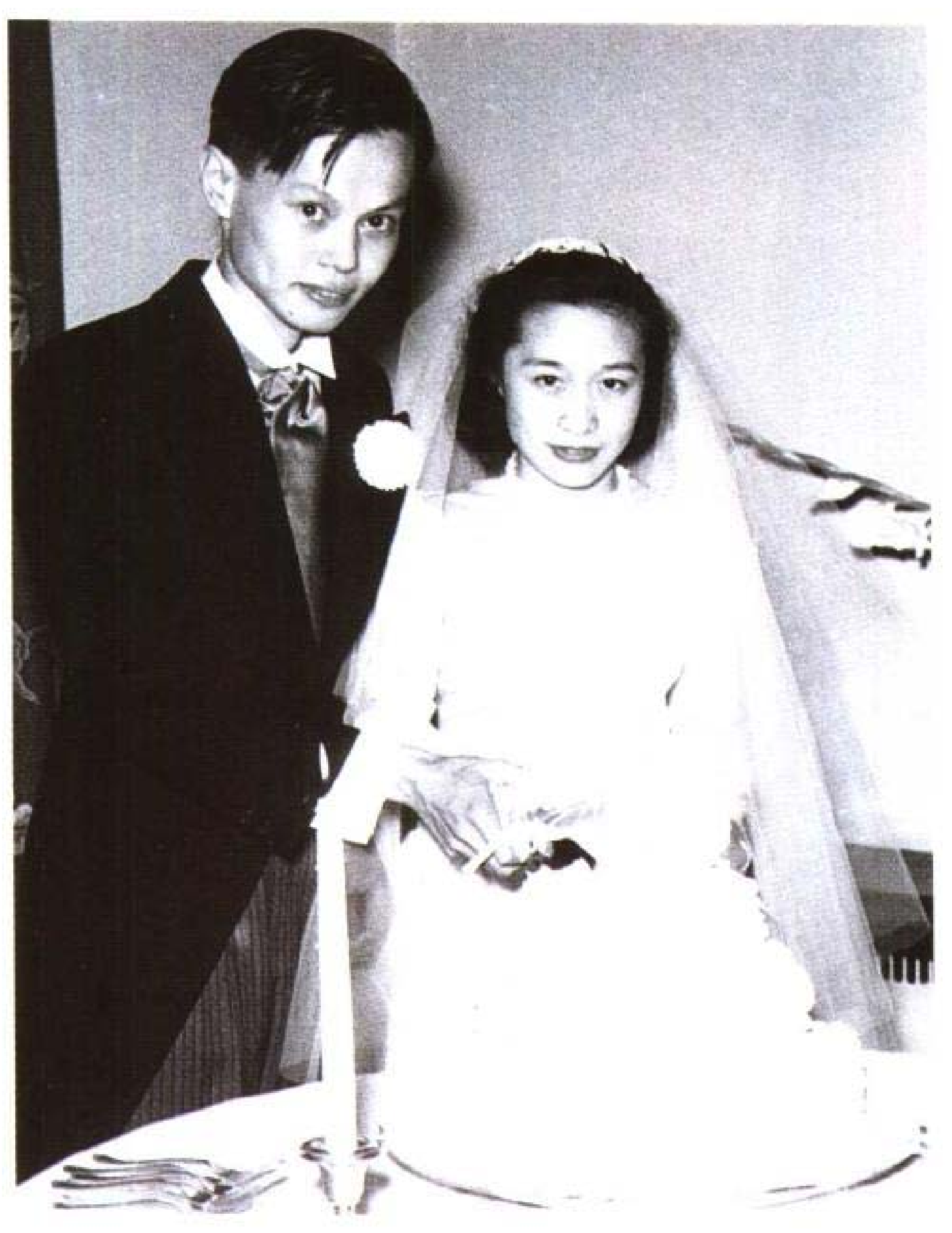
23. 左起：凌宁、李政道、杨振宁，摄于芝加哥大学（1947 年 8 月 23 日）。



24. 左起：李政道、杨振宁、朱光亚，摄于密西根大学（1948 年夏）。



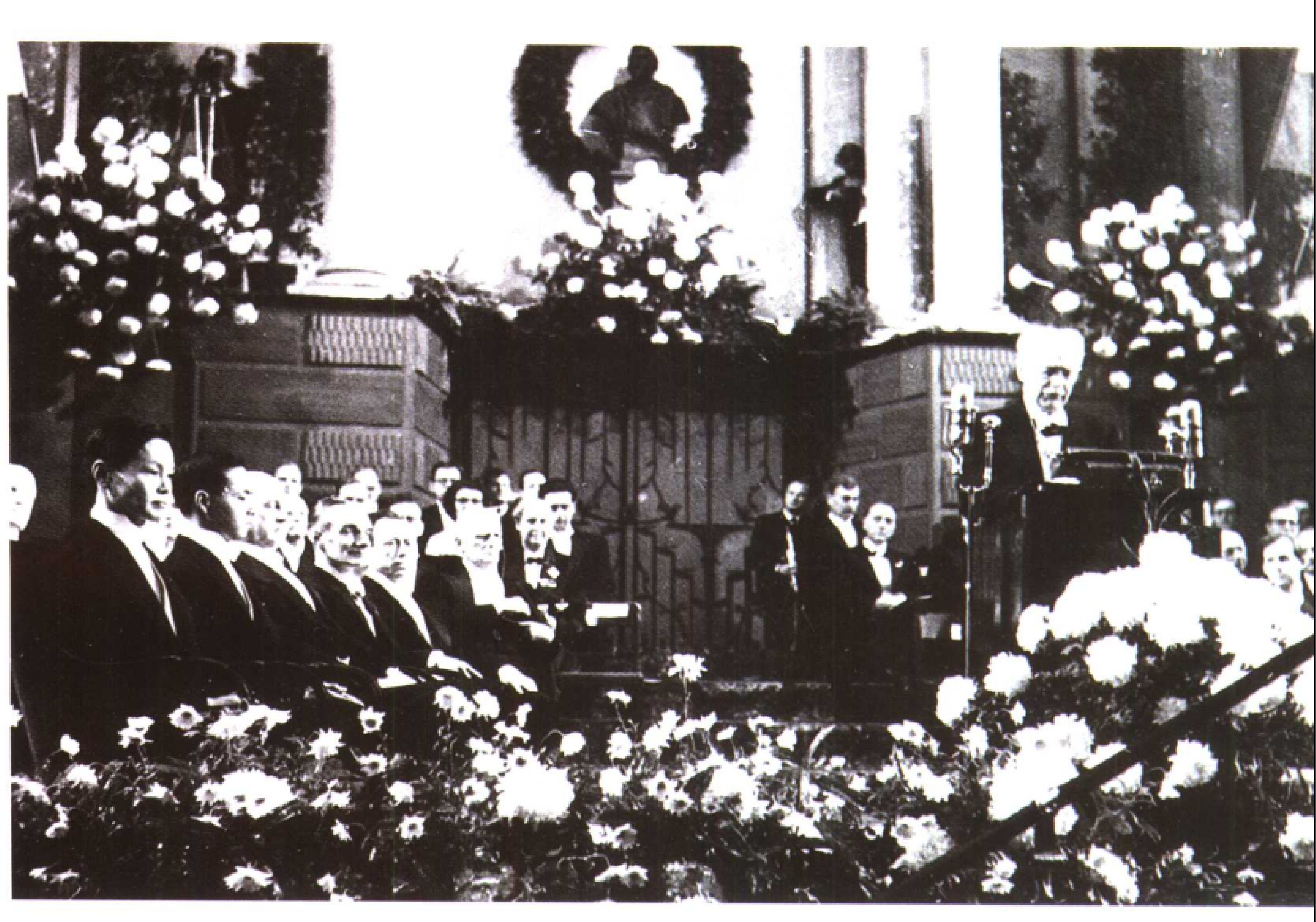
25. 左起：杨振宁、邓稼先、杨振平，摄于芝加哥大学（1949年夏）。



26. 杨振宁和夫人杜致礼，摄于普林斯顿(1950年8月26日)。

從天而頌之，
孰与制天命而用之。
荀子天論
振寧 致礼 婚
胡適

27. 胡适于50年代初为杨振宁夫妇题的字。



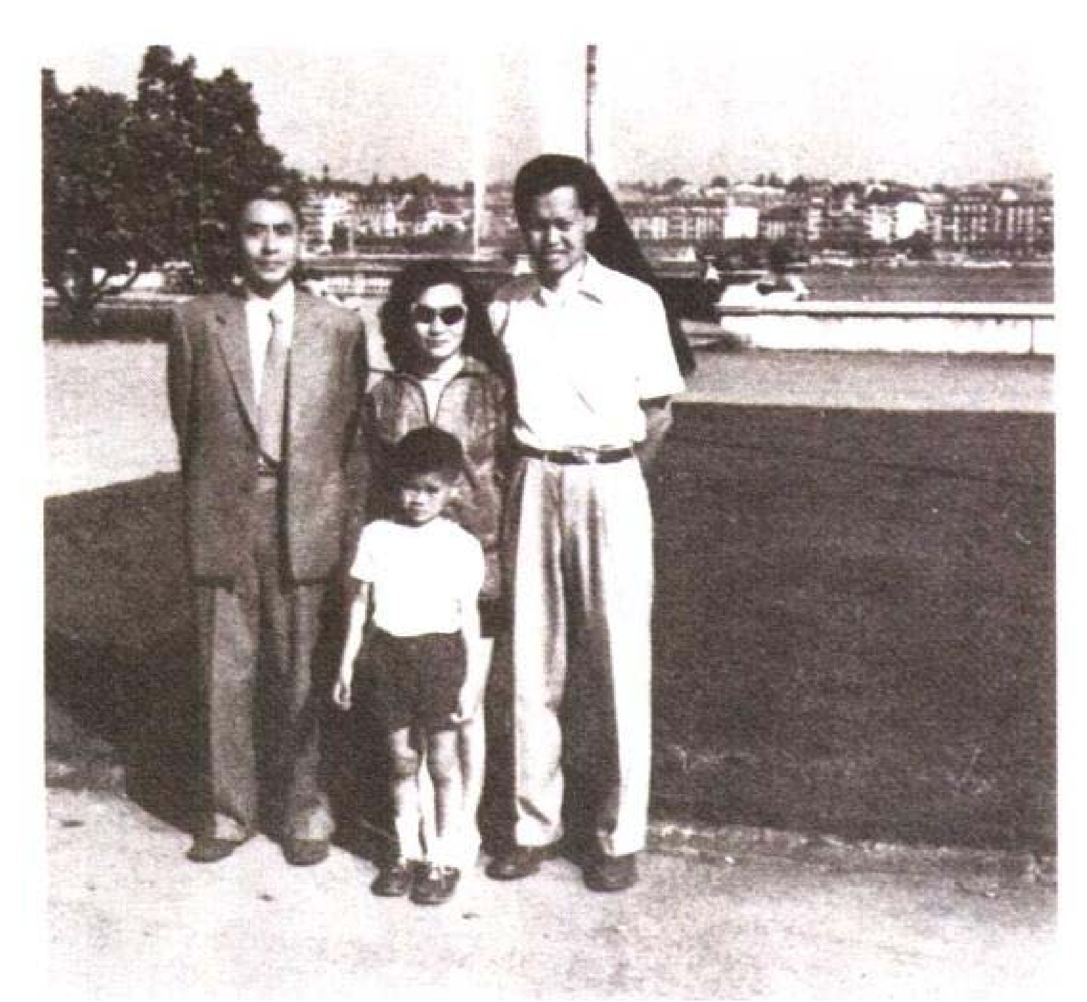
28. 杨振宁在诺贝尔奖发奖典礼上（1957 年 12 月 10 日）。



29.在诺贝尔奖发奖典礼后的晚宴上，杜致礼与瑞典国王（1957年12月10日）。



30.在诺贝尔奖发奖典礼的晚宴后，杨振宁与夫人杜致礼翩翩起舞（1957年12月10日）。



31. 左起：杨武之、杨光诺、杜致礼、杨振宁，摄于日内瓦（1957年）。这是杨振宁和父亲第一次在日内瓦团聚。

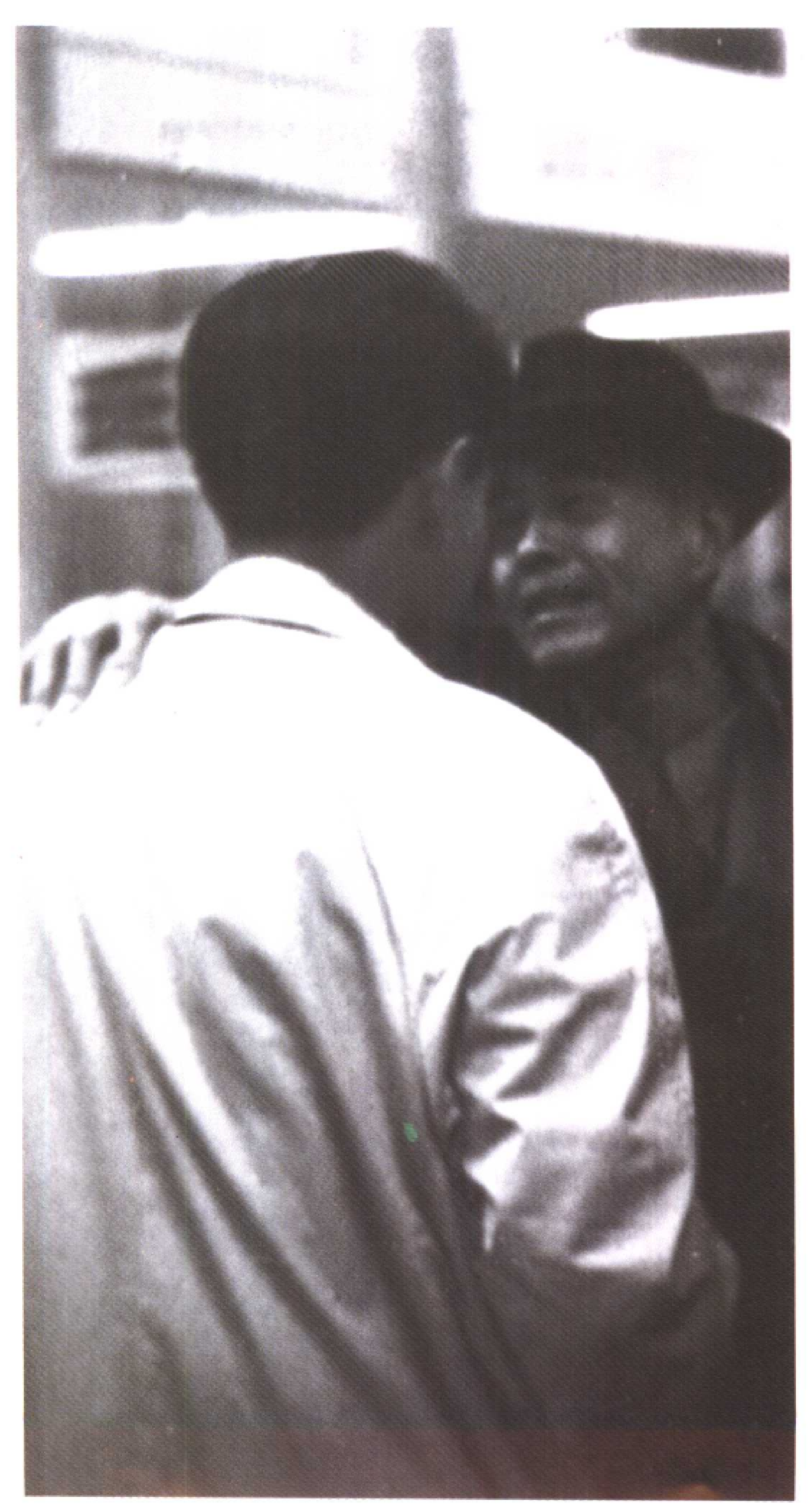
致礼
振寧 留念

每飯勿忘親愛永

有生應感國恩宏

1957 八月九日 父字

32. 父亲写给杨振宁夫妇的两句话（1957年）。

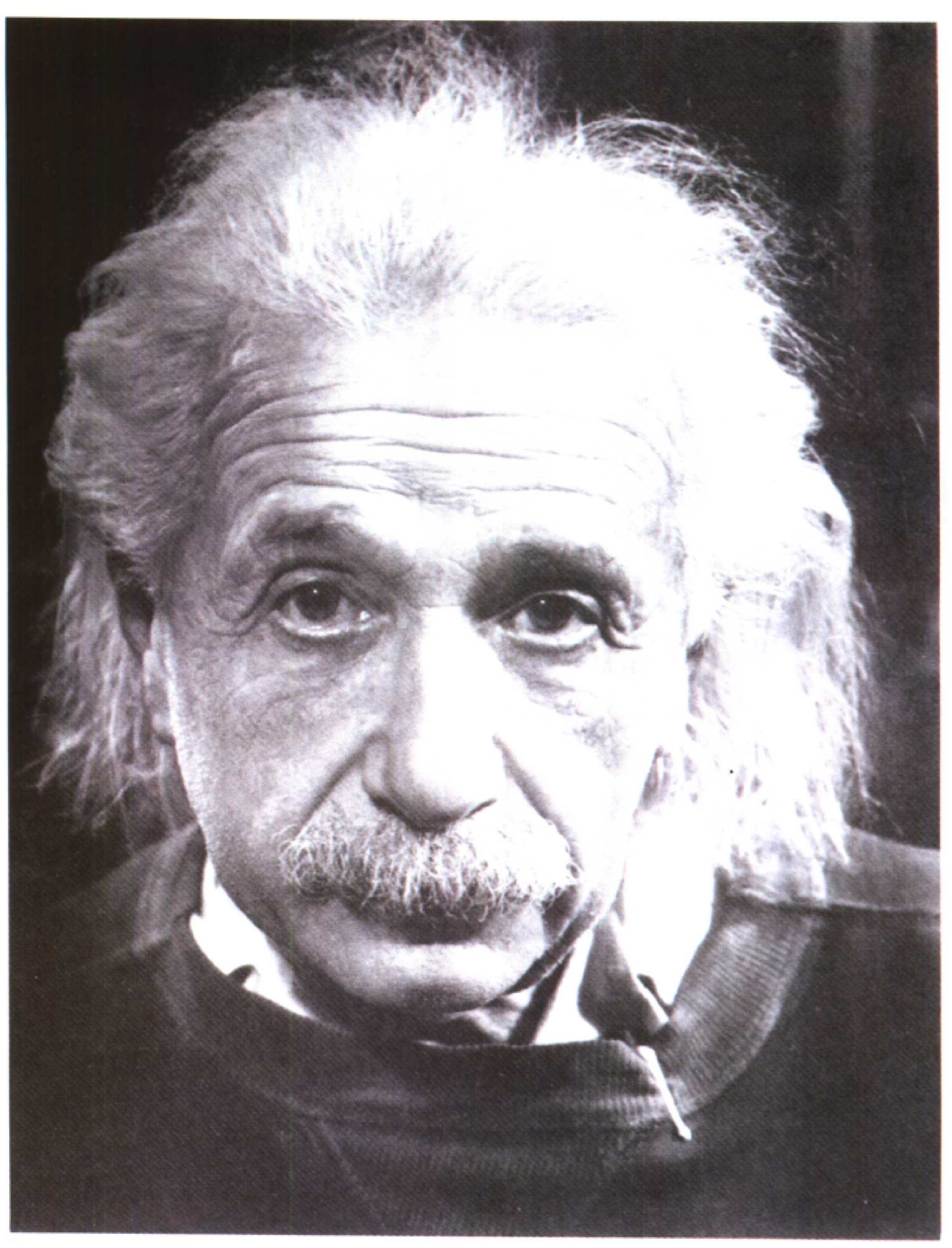


33.1962 年 5 月 21 日父亲和母亲到日内瓦，杨振宁到机场迎接。见面时父亲悲感满面（黄长风摄）。

34. 左起：陈省身、杨武之，摄于日内瓦（1962年夏）。



35. 王竹溪，摄于50年代。



36. 爱因斯坦（Albert Einstein,1950 年代）。1966 年美国的爱因斯坦邮票就是用这张照片制版的（P.Halsman 摄）。



37. 费米（E.Fermi），摄于 Los Alamos（1946 年）。



38. 奥本海默（J.R.Oppenheimer），摄于日内瓦（1962 年）。

39. 狄拉克（P.A.M.Dirac），摄于石溪（1967 年）。



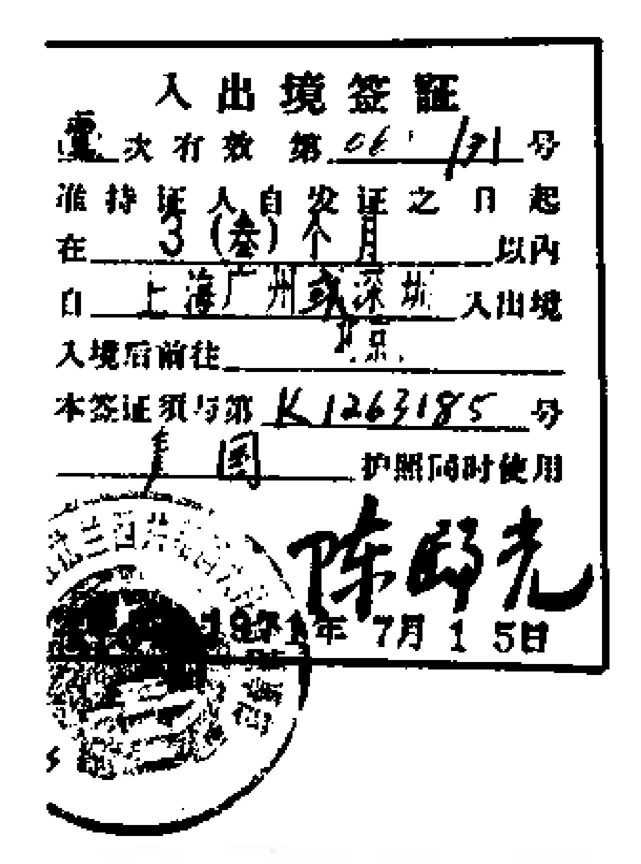
40. 米尔斯（R.L.Mills），摄于 80 年代。



41. 巴克斯特（R.Baxter），摄于90年代。



42. 左起：杨振宁、泰勒（E.Teller），摄于1982年。



入出境签證

壹次有效 第 06' /71 号

准持证人自发证之日起

在 3(叁)个月 以内

自 上海广州或深圳 入出境

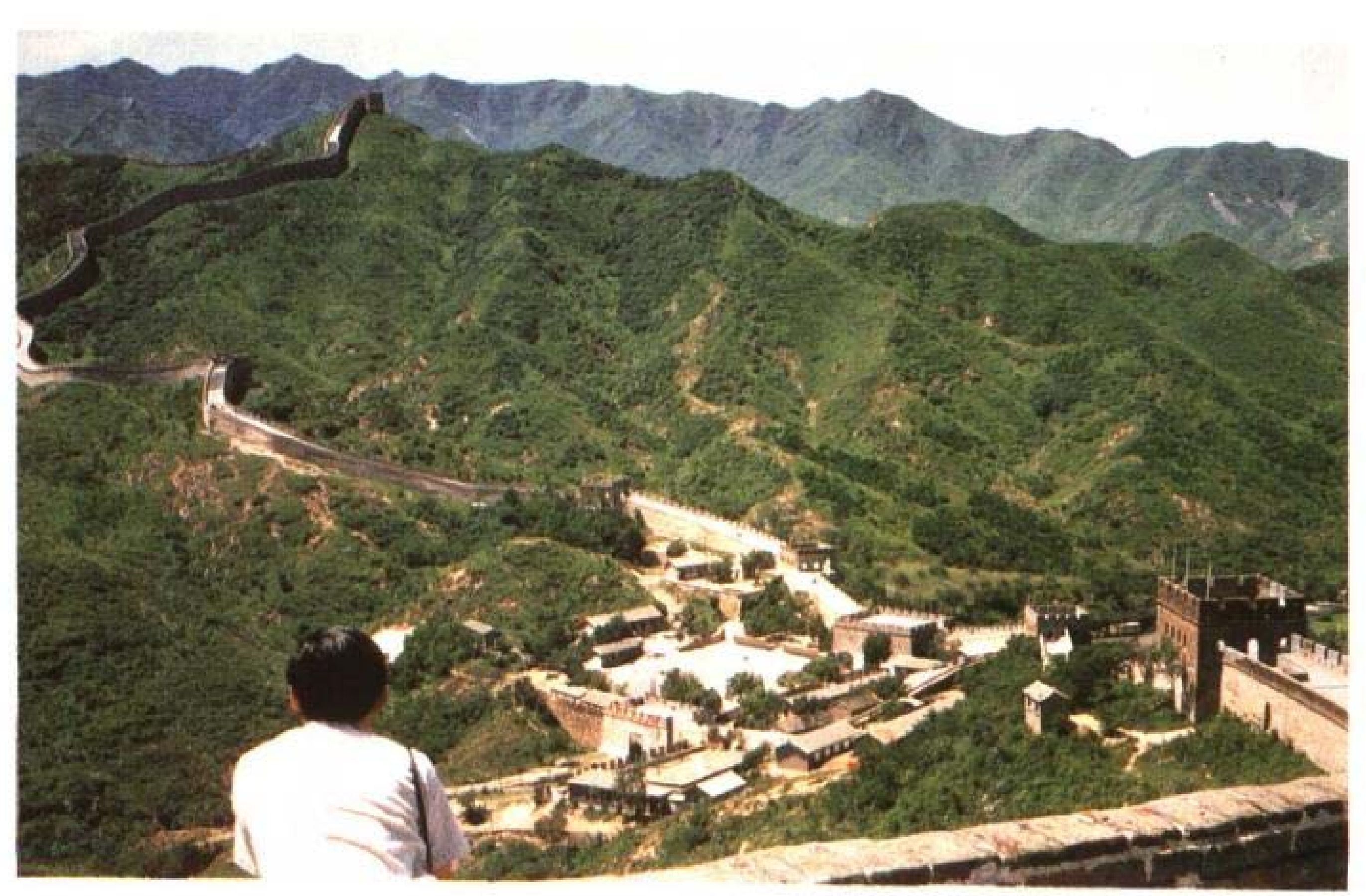
入境后前往 北京

本签证须与第 K1263185 号

美国 护照同时使用

1971年7月15日

43.1971年杨振宁自中国驻法大使馆领到的出入境签证。



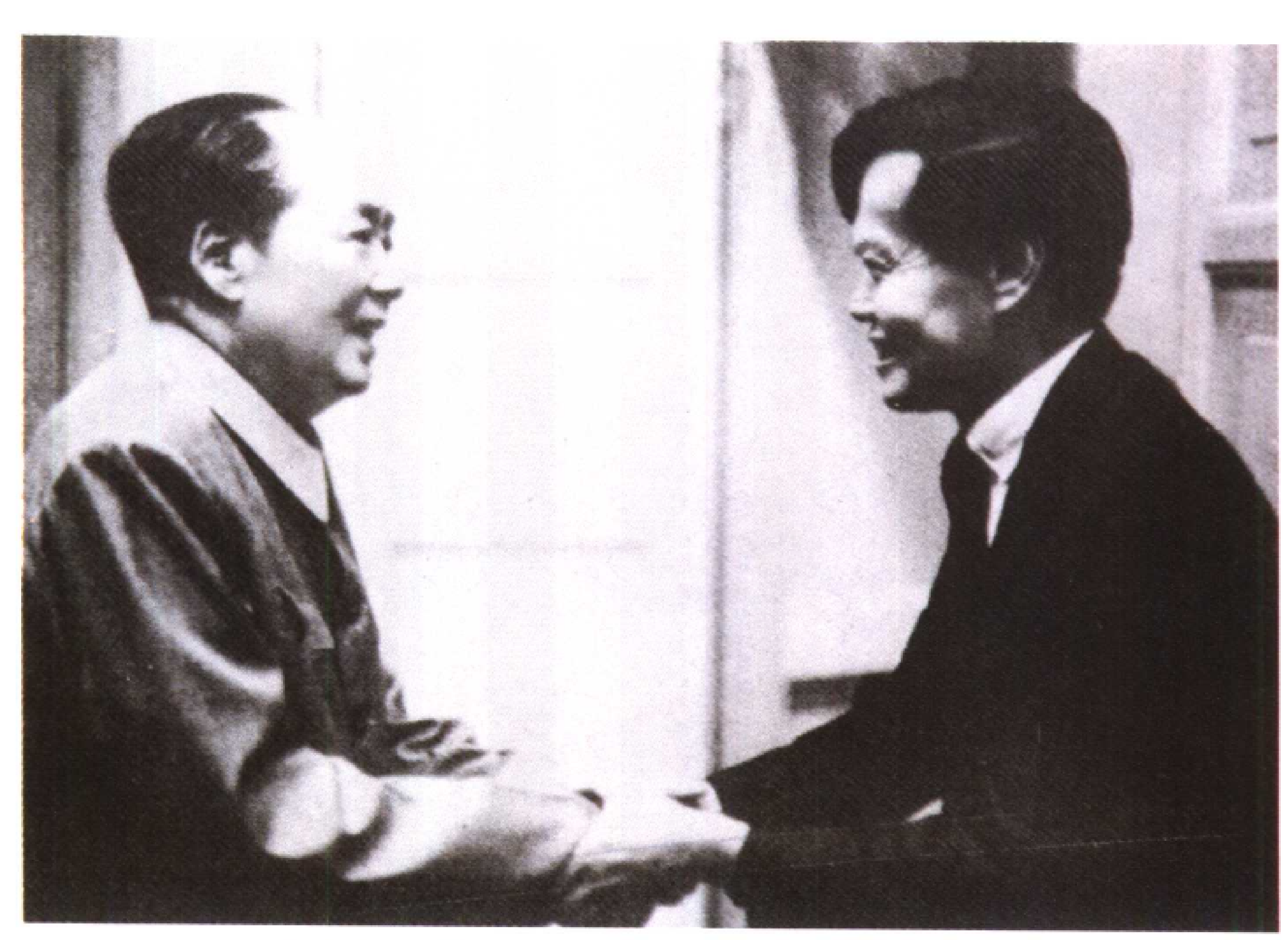
44. 杨振宁于1971年夏初次回大陆探亲，8月4日上午登上长城。



45. 杨振宁与周恩来握手，摄于北京人民大会堂（1971 年夏）。



46. 尼克松与杜聿明碰杯。杜聿明是杨振宁的岳父。摄于北京人民大会堂(1972年2月)。



47. 毛泽东会见杨振宁，摄于北京中南海（1973年）。



48. 左起：杨振宁、何炳棣、邓小平。1979年1月31日晚在华盛顿希尔顿酒店欢宴邓小平副总理。杨振宁、何炳棣时为全美华人协会正副主席。



49. 杜聿明夫妇（杨振宁的岳父母），摄于 1978 年。

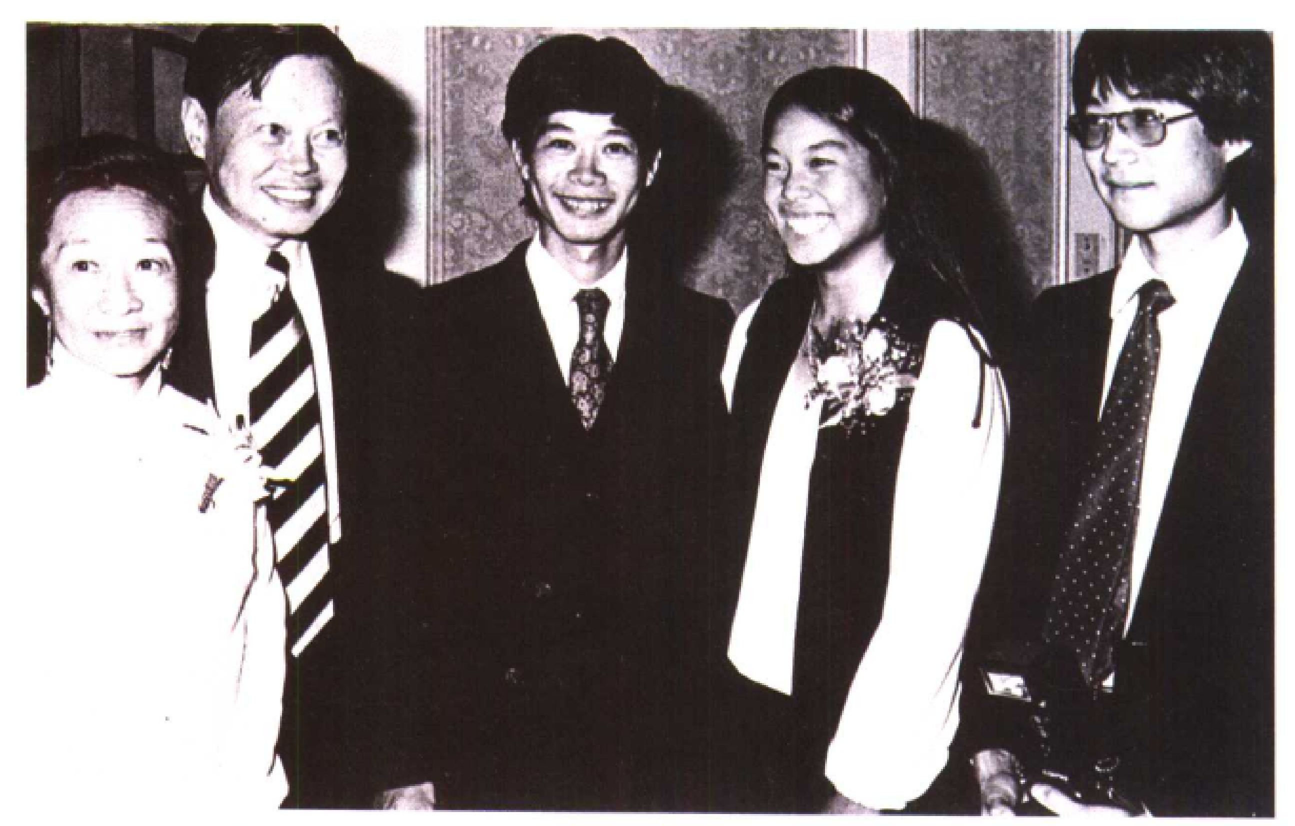
50. 左起：杨振宁、吴大猷，摄于石溪（1982年）。



51.纽约州立大学理论物理研究所占用此楼顶层，
左起第三个大窗是杨振宁的办公室。

52. 左起：胡和生、忻元龙、郑绍濂、孙鑫、谷超豪、严绍宗、杨振宁、沈纯理、夏道行、李大潜。摄于上海锦江饭店（1977年）。复旦大学这几位教师曾于70年代中期与杨振宁合作研究。





53. 杨振宁夫妇及子女，摄于石溪（1982年9月）。左起：杜致礼、杨振宁、杨光诺、杨又礼、杨光宇。



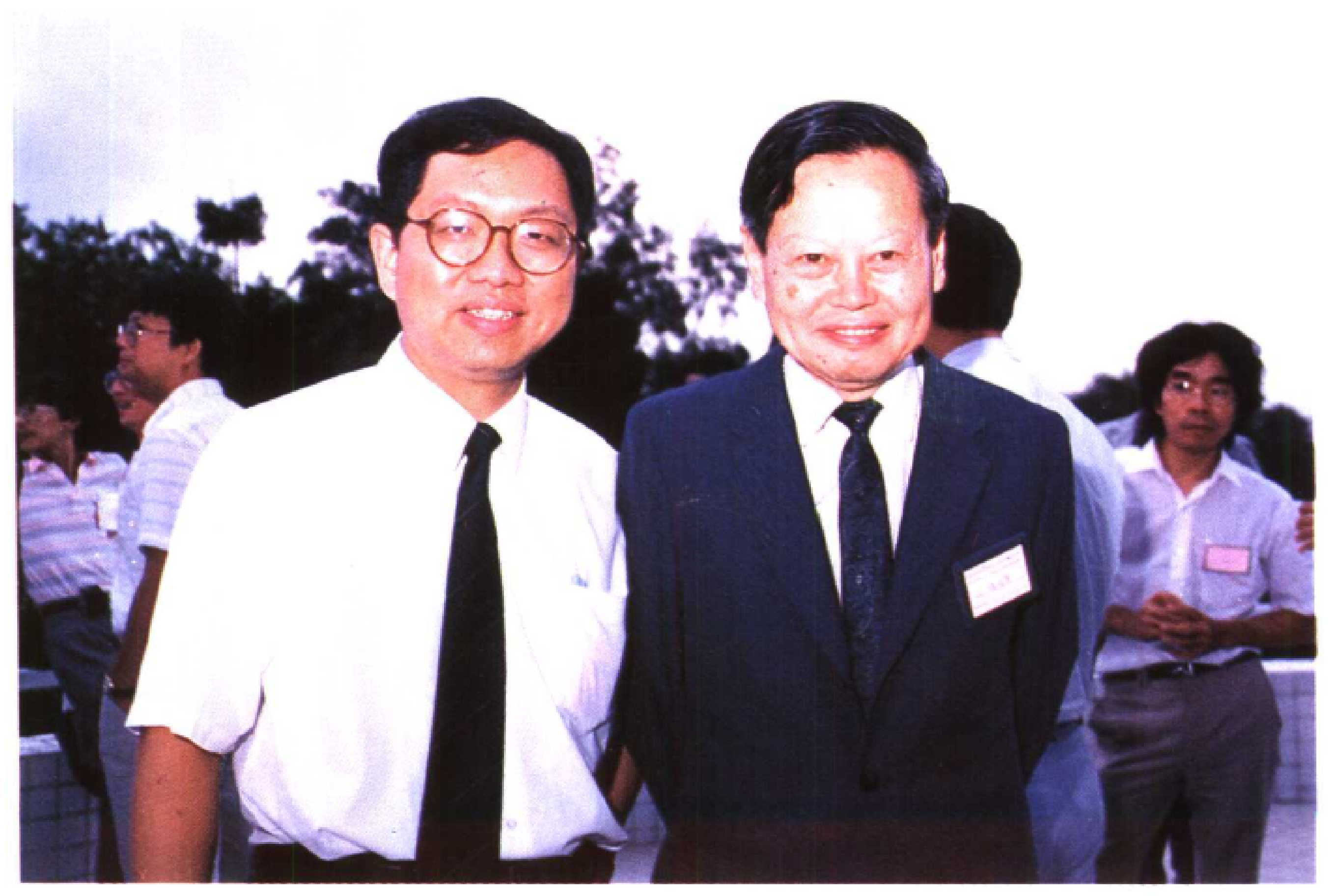
54. 杨振宁与母亲，摄于香港（1987年）。



55. 左起：张守廉、陈省身、杨振宁。1985年陈省身获纽约州立大学石溪分校荣誉学位时摄。

56. 左起：张奠宙、杨振宁，摄于石溪杨教授办公室（1990年12月27日）。

57. 左起：杨振宁、黄昆、吴大猷，摄于安阿堡（1991年5月）。



58. 左起：丘成桐、杨振宁，摄于台湾新竹清华大学（1992年）。

59. 杨振宁，摄于澳门三巴炮台（1993年夏）。



60. 左起：郑国顺、杨振宁，摄于台湾中正大学（1993年）。

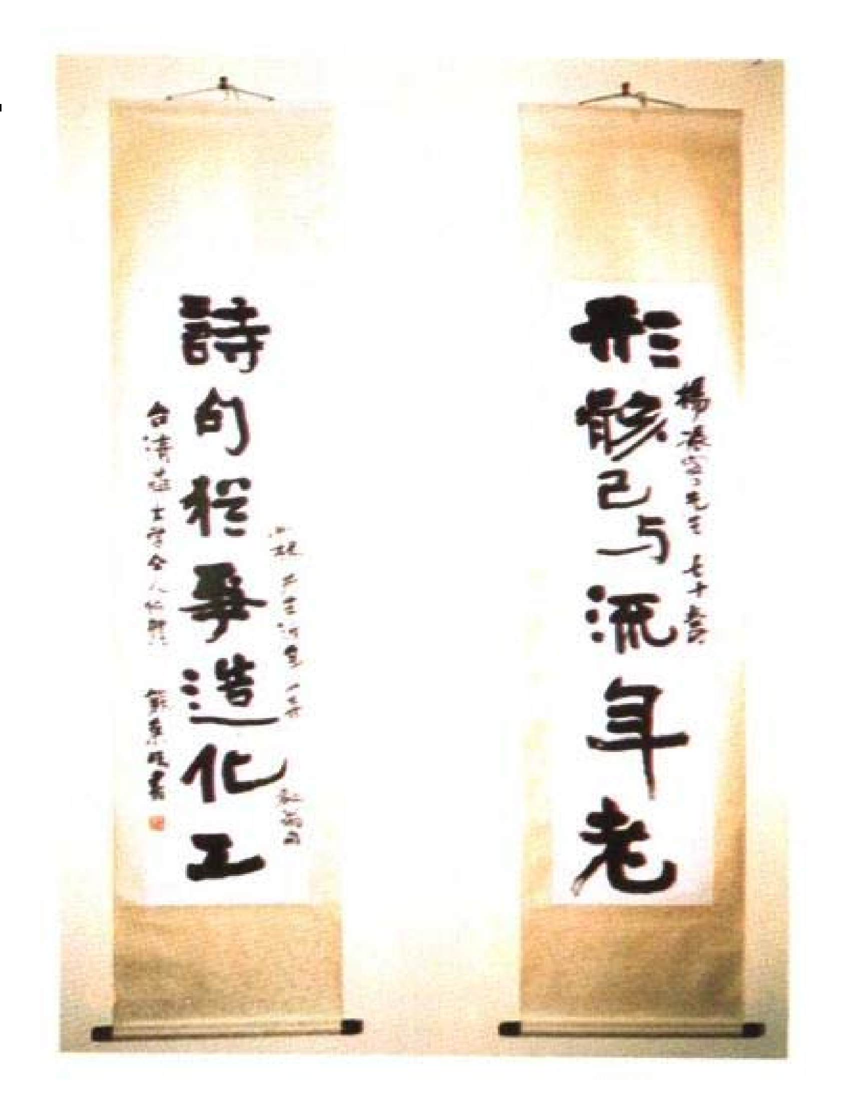
61. 杨振宁，摄于长白山麓（1993年夏）。



62. 杨振宁夫妇，摄于慕田峪长城（1994年）。



63. 杨振宁70寿辰时，熊秉明书写的立轴。



假如今天曾先生问我，你觉得你这一生最重要的贡献是什么？我会说，我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用。

——杨振宁

编者的话

杨振宁教授是20世纪最伟大的物理学家之一，他是炎黄子孙的骄傲，亿万华人的楷模。他的科学思想、人文精神，以及睿智而深沉的思考，已成为中华文化宝库中的一部分。编辑他的文集，对于振兴我国科学，发扬华夏文化，提高民族素质，都会有重要的意义。有鉴于此，华东师范大学出版社找到我，希望我来编辑一本《杨振宁文集》。幸运的是，这一工作获得了杨先生的同意。

从1996年下半年起，我开始收集杨振宁教授的中文文稿，从中选用了绝大部分，其中包括1997年刚刚发表的或即将发表的一些文章。此外，还从英文翻译了一部分新的。可以说，除了杨振宁先生的物理学专业论文之外，这本文集是迄今收得最全的一种。

要说明的是，本书文章的许多标题是我加上去的。杨先生在1982年为他的科学论文选集 Selected Papers 中的论文写了一系列后记，那是珍贵的科学历史资料和重要的社会人生感悟，涉及的面很广。由于那是物理专业性论文的后记，没有单独设立标题，读者恐难理解后记的内容，也不便于检索。所以我们力求从原文中摘取数语，做成正标题，而把原标题作为副标题。现在唯一的愿望是这些标题不致歪曲原文的含义。

在整体安排上，我们基本上按文章的写作年代排列，书中有关社会、人物、回忆、文化、读书、教学等散文式的文字，一般读者

都能看懂。有些物理学的综合性论文、科学评述、科普性文章，它们虽然不是学术性很强的专业论文，但要读懂它，总需要一定的专业知识。作为一本科学家的文集，这些文字恐怕是不可少的。

1992年，杨振宁教授70寿辰时，丘成桐和刘兆玄两先生编了一本庆贺文集：《杨振宁——20世纪一位伟大的科学家》(Chen Ning Yang——A Great Physicist of thd 20th Century)。这本书中的文章，有一些是专业的学术论文，有些则是回忆性的文字，对于理解杨振宁的一生有许多帮助。承蒙允许，我们把其中的一部分译出置于附录中，以供参考。附录中，还包括亲友的回忆，新闻报道，及记者的采访记录，这一些虽然不是杨振宁先生本人的文字，但都是珍贵的历史记录，对于了解杨振宁先生的思想，当会有帮助，所以我们也收了进来。

本文集的文章，大多是从英文翻译而来，它们出自许多译者之手，译文的风格、习惯、用语等等均不一致，尤其是地名、人名的译法差异更大。我们努力使之统一，但是看来很不容易做到。疏漏之处，尚请谅鉴。各文的译者，凡我们知道的，都已注明。其中甘幼玶先生的帮助很多，特此致谢。

本书编辑过程中，得到过杨振宁教授的指点；1997年9月我们在杭州有一简短的晤面，但是编辑工作的责任，完全应由编者来负。华东师范大学出版社曹伯言教授，是我多年的老朋友，一位思想史专家，他对杨振宁先生景仰已久，这次欣然参加我们的编辑工作；责任编辑陈长华做了大量的编辑工作；我们合作得很愉快。

张奠宙

1997.10

于上海华东师范大学

目　　录

上　　册

下　册

忆我在中国的大学生活

——《超晶格》(1945)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985年12月。译者甘幼玶、黄得勋。原标题为《[45a][①]〈超晶格统计理论中láo化学方法的推广〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1942年我在昆明西南联合大学取得理学士学位后，做了该校的研究生。为了准备硕士论文，研究的是统计力学，导师是王竹溪教授。他在30年代曾到英国师事福勒(R. H. Fowler)。王先生把我引进了物理学的这一领域，此后，它便一直是我感兴趣的一门学科。《超晶格》一文是我的硕士论文的一部分。

西南联大是中国最好的大学之一。我在那里受到了良好的大学本科教育，也是在那里受到了同样良好的研究生教育，直至1944年取得硕士学位。战时，中国大学的物质条件极差。然而，西南联大的师生员工却精神振奋，以极严谨的态度治学，弥补了物质条件的不足：学校图书馆存书不多，杂志往往过了一两年才收到；但就在那座图书馆里，我学到了许多许多知识。冬天，我们的教室又冷又透风，上实验课时，我们只有少得可怜的一点设备；

但是，总的说来，课程都非常有系统，而且都有充分的准备，内容都极深入。直到今天，我还保存着当年听王先生讲授量子力学时的笔记，它对我仍是有用的参考资料。笔记本用的是没有漂白过的粗纸，很容易撕破，今天它经常会使我想起那些岁月里的艰苦物质条件。

中日战争（1937—1945）是一场漫长的浩劫，与中国悠久历史上所发生过的任何一次战争相比，都有过之而无不及。降临到千百万老百姓头上的是难以名状的灾难。有1937年12月的南京大屠杀。有日本人的“三光政策”（杀光、烧光、抢光），由于这一政策，单在华北一地区，从1941到1942的一年之内，人口就从4400万锐减到2500万[②]。有1944年河南省的大饥荒[③]（我实在不知道应该怎样来形容这场惨剧！）。有1944年底日军的最后一次攻击，当他们攻到桂林和柳州时，在昆明人人都担心贵阳会随时陷落。还有数不清的疯狂轰炸。1940年9月30日，我家在昆明租赁的房屋正中一弹。我们少得可怜的一点家当几乎全部化为灰烬。万幸的是，全家人都已躲在防空洞里，免于遭难。几天之后，我带着一把铁锹回去，挖出了几本压歪了的但仍可用的书本，欣喜若狂。今天已很难了解，在那种困苦的岁月里几本书的价值。

除此之外，还有通货膨胀的永无休止的威胁[④]。我父亲是西南联大教授，他的储蓄全部化为乌有。战争结束时，我们已到了无隔夜之炊的境地。我母亲是一位意志坚强而又克勤克俭的妇女，为了一家7口人的温饱，她年复一年地从早到晚辛苦操劳。她的坚忍卓绝的精神支持全家度过了8年的抗战时期。战争结束时，全家个个清瘦，但总算人人健康。

1944到1945年，我在昆明一所高中教数学。教课之余研究场论，那是1942到1944年间我自马仕俊教授那里学到的理论。

我对变形物体的热力学也非常感兴趣。1945 年四五月间，我用一种颇为优雅的方法讨论了这方面的问题。但后来发现莫纳汉(F. D. Murnaghan)早在 1937 年就已做过这方面的工作⑤，使我大失所望。

1945 年 8 月底，我动身前往美国。中美之间当时没有民用交通。我在加尔各答等候了几个月，才搭上一艘运兵船，终于在 11 月底来到纽约，并在圣诞节前后抵达芝加哥。1946 年 1 月，我在芝加哥大学注册成为该校的研究生。在一篇后来写的文章中我曾描述过这段经历(见本书文四《费米教授》)。

想起在中国的大学生活，对西南联大的良好学习空气的回忆总使我感动不已。联大的生活为我提供了学习和成长的机会。我在物理学里的爱憎主要是在该大学度过的 6 年时间里(1938—1944)培养起来的。诚然，后来我在芝加哥接触了前沿的研究课题，并特别受到费米(E. Fermi)教授风格的影响。但我对物理学中某些方面的偏爱则是在昆明的岁月里形成的。

在每一个有创造性活动的领域里，一个人的爱憎，加上他的能力、脾气和机遇，决定了他的风格，而这种风格转过来又决定他的贡献。乍听起来，一个人的爱憎和风格竟与他对物理学的贡献关系如此密切，也许会令人感到奇怪，因为物理学一般认为是一门客观地研究物质世界的学问。然而，物质世界具有结构，而一个人对这些结构的洞察力，对这些结构的某些特点的喜爱，某些特点的憎厌，正是他形成自己风格的要素。因此，爱憎和风格之于科学研究，就像它们对文学、艺术和音乐一样至关重要，这其实并不是稀奇的事情。

上面提到我对物理学的爱憎基本上是 1938—1944 年在昆明当学生时形成的。正是在那些年月，我学会了欣赏爱因斯坦(Einstein)、狄拉克(Dirac)和费米的工作。当然，他们各自有迥然

不同的风格。但是，他们都具有把一个物理概念，一种理论结构，或一个物理现象的本质提炼出来的能力，并且都能够准确地把握住其精髓。后来我结识了费米和狄拉克，体会到他们讨论和分析物理的方式确实和我从他们的文章中猜想到的很一致。

相反，海森堡(W. Heisenberg)的风格不能引起我的共鸣。这并不等于说我不认为他是一个伟大的物理学家。我知道他的确是的。事实上，在1942年底我学了测不准原理时，曾激动不已并有顿悟之感。但我不能欣赏他的研究方法。后来，在50、60、70年代，我在一些会议和演讲会上同他偶有交往，更加深了我原先的印象。

我很能欣赏薛定谔(E. Schrödinger)探讨波动力学的研究方法。这或许是因为它与经典力学和光学的传统更吻合，或许是因为薛定谔的目标更为明确。总之，我发现波动力学是几何形象的。它更有吸引力，更容易被我接受。

注：

① 杨振宁教授载于《选集与后记》(1983)中的论文都以写作年份排列，同一年的数篇文章，又按顺序注以a、b、c、d。[45a]即1945年写的第一篇文章。以下同。请参见本书附录四，“杨振宁科学论文英文目录(1944—1980)”。编者注。

② 见约翰逊(Chalmers A. Johnson)，《农民国民主义和共产党政权》，斯坦福大学出版社，1962，第2章。

③ 见怀特(T. H. White)，《历史的探讨》，纽约：Harper and Row出版社，1978。

④ 战后，通货膨胀继续有增无已。1949年，1美元等于100万中国元，这相当于1937年以来百分之三千万的通货膨胀。

⑤ 莫纳汉(F. D. Murnaghan)，《美国数学杂志》59，235(1937)。

关于我的博士论文

——《核反应》(1948)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985年12月版。译者甘幼玶、黄得勋。原标题为《[48a]〈论核反应中的角分布和符合测量〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1942年，为了在西南联合大学取得学士学位，我必须提交一篇毕业论文。我去找吴大猷教授做论文导师，他拿出1936年那卷《现代物理评论》杂志上罗森塔耳(J. E. Rosenthal)和墨菲(G. M. Murphy)合写的一篇文章给我看。那是讨论群论和分子光谱的评论性论文。这样，我就接触了群论在物理学中的应用。回首往事，我对吴先生的这次指引深为感激，因为这对我后来发展成为一个物理学工作者有深远的影响。

其实，还在念高中时，我就从父亲那里接触到了群论初阶，也常常被父亲书架上一本斯派塞(A. Speiser)的关于有限群的书中的美丽插图所迷住。当我把罗森塔耳和墨菲的论文拿给父亲看时，他建议我读一读狄克逊(L. E. Dickson)的一本名叫《现代代数理论》的小书，好从中学习群的表示理论。狄克逊是我父亲20年代在芝加哥大学数学系做论文时的导师。他在短短20页的一章里介绍了特征标理论。这一章的又优美又有巨大动力的理论使

我认识了群论的无与伦比的美妙和力量。

在芝加哥，通过自学和与泰勒(E. Teller)教授的接触，我学到了更多的群论知识。泰勒对群论在原子和分子物理中的应用有一种直觉的了解。我这篇1948年的论文《核反应》就是利用这些群论知识发展出来的。发展的目的在于试图了解，为何在计算各种角关联时，常常发生令人惊奇的各项相抵消的情形。根据泰勒的建议，我也处理了高速电子在β衰变中的理论。

泰勒手下有许多研究员和研究生。前后有两年的时间，我不时是该组的一个成员。这段时间里我学到了许多物理知识。我仍然记得泰勒要我研究的第一个课题：Be^7和Be^7O晶体的K—俘获寿命的差别。他建议我用维格纳—赛兹(Wigner—Seitz)方法来作晶体分析，而用托马斯—费米—狄拉克(Thomas—Fermi—Dirac)方法来估计电子密度。我很高兴学到这些方法，也喜欢做这种数值计算。但最后结果涉及大项之间的相消，对这样的结果我没有信心，因此这工作一直没有发表。

1948年的这篇论文《核反应》成了我的博士论文。经过是这样的：当初来到芝加哥时，我本想做实验方面的论文，因为在实验物理方面，我的知识很贫乏。为此，我从1946年秋开始在艾里逊(S. K. Allison)教授的实验室工作。阿格纽(H. M. Agnew)、阿尔戈(H. V. Argo)、阿诺德(W. R. Arnold)、法韦耳(G. W. Farwell)、寒春(J. Hinton)、罗萨芮奥(L. del Rosario)、威尔科克斯(H. A. Wilcox)和我，几个研究生在1946至1948年间协助艾里逊建造了一个40万电子伏的柯克罗夫特—瓦尔顿加速器，并用它做核物理方面的实验。当我所做的分辨He^5的$P\frac{1}{2}$、$P\frac{3}{2}$态的实验遇到困难时，泰勒建议我放弃写实验论文的计划，并说他愿意保荐这篇我已写好的理论论文《核反应》为我的博士论文。起先，这个主意使我感到沮丧，但几天后我打起精神接受了他的建议。之后

有如释重负之感。

在艾里逊实验室度过的20个月，对我来说却是很有教益的。我亲身体验了一个实验物理学家所遇到的一些挫折。那座加速器时常稀奇古怪地漏气。它有一种怪脾气：只有夜幕降临时方能正常工作。我发现，实验室某些同学具有神秘莫测令我惊愕的第六知觉，他们知道在什么地方可以找到漏气洞；当定标电路失常时他们知道应该在什么地方踢一脚。实验室里的同学们和我相处很好，因为我有时能在理论方面帮助他们。可是他们爱开我的玩笑。艾里逊特别喜欢的一个玩笑是："哪里炸得乒乓作响，那里准有杨振宁在场。"

在我写《核反应》时，场论方面最激动人心的新闻就是重整化理论。1948年3月底，费米、泰勒和文采尔(Wentzel)去参加著名的坡柯诺(Pocono)会议。回来时，他们对施温格(J. Schwinger)关于量子电动力学的报告印象极深。费米和文采尔两人都作了大量笔记。从4月14日开始，他们三人和五个研究生：丘(G. Chew)、戈德伯格(M. L. Goldberger)、罗森布鲁思(M. N. Rosenbluth)、斯坦伯格(J. Steinberger)和我，每周有几个早晨集中在费米的办公室里，试图理解施温格的方法。这种聚会持续了几个星期，戈德伯格将我们的讨论整理成笔记，共有49页。但我们并未取得多少进展。

初识李政道

——《介子同核子》(1949)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[49a]〈介子同核子和轻粒子的相互作用〉一文之后记》。本标题为编者所加。

我1948年6月获得芝加哥大学哲学博士学位后,在安阿伯的密执安大学度过了那一年的夏天,其时施温格(J. Schwinger)和戴逊(F. J. Dyson)都在那里讲学。秋后,我返回芝加哥大学,被聘为物理系的讲师。我一边教课,一边继续做核物理和场论方面的研究。1948年尾,李政道、M. Rosenbluth(罗森布鲁思)和我合作研究μ—e衰变及μ俘获,发现这些相互作用与β衰变具有非常相似的强度。

李政道1946年秋到芝加哥大学当研究生。我俩早些时候在中国或许见过面,然而,只是到了芝加哥才真正彼此相识。我发现,他才华出众,刻苦用功。我们相处得颇投机,很快就成了好朋友。我长他几岁,又先他几年当研究生,便尽力帮助他。后来,费米做了他的学位论文导师,但他总是转而向我寻求指导。因此,在芝加哥的岁月里,事实上我倒成了他的物理老师。

关于 μ 衰变和 μ 俘获的论文，基本上是在 12 月中旬假期开始之前完成的。Rosenbluth 和我搭乘长途汽车去纽约市。我对这次旅行印象很深，途中由于大雪，我们在匹兹堡被困阻了好几个钟头。车上，我从报纸得悉，中国共产党的军队包围了北平和天津。1949 年正月回到芝加哥后，费米劝我把研究结果写成短文发表，这就是本文的由来。除我们三人之外，另外还有几摊人也曾独立地探讨过同样的问题。通过这些研究，人们逐步认识到自然界存在四种基本的相互作用（即四种力，译注），并且还认识到，在弱作用中存在某种普适性。

费米教授

——《介子是基本粒子吗?》(1949)一文的引言

此引言写于 1961 年,1965 年出版,原载 The Collected Papers of Enrico Fermi, Vol 2, University of Chicago Press, 1965. 中译文载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985 年 12 月。译者甘幼玶、黄得勋。本文标题为编者所加。后记写于 1982 年。

第二次世界大战末期,费米(E. Fermi)到芝加哥大学物理系及当时新成立的核研究所工作(该所现以他的名字命名)。其时美国各大学正在恢复学术研究工作及研究生教育。被战争贻误了学业的学生们纷纷回到校园。芝加哥大学招收的物理研究生特别多。我们也许永远无法知道,其中有多少人是慕费米之名而来的。就我本身而言,我于 1945 年 11 月由华赴美,是决心拜费米或维格纳(E. Wigner)为师的。但是我知道,战时的研究工作已使他们离开他们各自的大学。记得我到纽约后不久,有一天走了很长一段路来到蒲平(Pupin)大厦,登上 8 楼打听费米教授近期是否即将授课。(译者注:蒲平大厦是哥伦比亚大学物理系所在地。)遇见的几位秘书都一无所知。然后我到普林斯顿去,结果又令我大失所望,因为在下一年度里维格纳要休假。但在普林斯顿,我从张文裕教授那里听到消息说,有可能在芝加哥会建立一

个新的研究所，而且费米会加入该所。我随即去芝加哥并到芝大注了册，但直到1946年元月，费米登上讲台，我亲眼见到了他，一颗心才放了下来。

众所周知，费米的讲课非常明白易懂。他的特点是，每个题目都从头讲起，举简单的例子并且尽可能避免"形式化"(他常常开玩笑说，复杂的形式主义留给"主教们"去搞吧)。他推理简明，给人的印象是得来全不费功夫。但这种印象是错误的，他的简明是精心准备，反复推敲，权衡各种不同描述方式的利弊之后才得到的。1949年春天，费米讲授核物理(后来由奥里尔 J. Orear，罗森菲尔德 A. H. Rosenfeld 和斯克鲁特 R. Schluter 整理成书出版)，因为有事要离开芝加哥几天，他让我代他讲授一堂课并把一本小笔记本交给我，上面写满了他为每一节课认真准备的每一个细节。行前他和我一道将全部内容讨论了一遍，解释每一个讲法后面的推理过程。

费米习惯于每周对很少的几个研究生作一两次非正式的不经准备的晚间讲演。大家聚集在他的办公室，然后由他或某位同学提出一个专题。接着费米就查阅他的那些作了详尽索引的笔记本，找出关于该专题的笔记，随后给我们讲解。我还保存着1946年10月至1947年7月我参加他的晚间讲演时所作的笔记。其中包括(照原顺序排列)下列题目：恒星的内部构造及演变理论，白矮星的结构，伽莫夫—熊伯格(Gamow—Schönberg)关于超新星的构想(由于电子被核俘获而产生的中微子冷却)，黎曼(Riemann)几何，广义相对论与宇宙学，托马斯(Thomas)—费米模型，处于高温与高密度的物态，托马斯因子2，中子被仲氢和正氢的散射，同步辐射，塞曼(Zeeman)效应，电路噪声的"约翰逊(Johnson)效应"，玻色—爱因斯坦(Bose—Einstein)凝聚，多频系统与玻尔(Bohr)量子化条件，波恩—英费尔德(Born—Infeld)基

本粒子理论，统计力学基础的概述，介子在物质中的减速，中子在物质中的减速等。这些讨论维持在初级水准，总是侧重于论题的本质与实用；所采取的方法通常不是分析性的，而是直观和几何的。

这么多年来，费米一直就物理学的各个不同科目——从纯理论物理到纯实验物理，从三体问题的最佳坐标这样简单的问题到广义相对论如此深奥的科目——做着详细的笔记，这一事实本身对我们大家就是重要的一课。我们懂得了，那就是物理。我们懂得了，物理不应该是专家的学科，物理应该从平地垒起，一块砖一块砖地砌，一层一层地加高。我们懂得了，抽象化应在具体的基础工作之后，而决非在它之前。从费米的这些演讲中我们还懂得了，他对使用台式计算机作简单的数字运算很感兴趣，没有厌恶这一类工作。

除了正式和非正式的课程以外，费米还将他的午餐时间几乎全部献给了研究生(起码在 1950 年之前是这样)。午餐时进行的谈话很自然地涉及各种题材。我们发现费米有几分保守。喜欢独立思考。我们注意到他讨厌任何形式的做作。关于我们的研究工作，他有时会给一些概括性的忠告。我记得他曾经强调，一个年青人应该将他的大部分时间用于解决简单的实际问题，而不应专一处理深奥的根本问题。

《介子是基本粒子吗?》是费米和我于 1949 年夏天写的。正如文中所明确申明的，我们并不抱任何幻想，以为我们提出的内容可能真的符合现实。事实上，我原本倾向于将此文湮没在笔记本中不予发表。但费米说，学生的任务是解决问题，研究人员的任务是提出问题；而他认为我们提出的问题有发表价值。这里我可以附带声明，此问题今天(1963 年)仍未解决。

西格丙(Segrè)在为这本费米全集所写的序言中说，费米帮

助提出的一个非常重要的问题，是核的壳层模型中的自旋——轨道相互作用［见迈耶（M. G. Mayer），Phys. Rev. 75，1969（1949）一文后面的谢辞］。费米首先提出的另一个问题是核子守恒概念［见杨振宁、蒂欧姆诺（J. Tiomno），Phys. Rev. 79，495（1950），脚注 12］。我还可以指出，费米对宇称守恒这个问题也一直很有兴趣。（见芝加哥大学核研究所奥里尔、罗森菲尔德和斯克鲁特于 1951 年合编的《国际核物理与基本粒子物理会议文件汇编》第 2 页及第 109 页。参阅 *Collected Papers of Enrico Fermi*，第 246 文。）

1954年秋天，费米病危。那时在哥伦比亚大学的盖尔曼（Murray Gell-Mann）和我到芝加哥比灵斯（Billings）医院探望他。我们走进病房时，他正在读一本描写凭着坚强意志战胜噩运和巨大自然障碍的真实故事集。他很瘦，但只略显哀愁。他很镇静地告诉我们他的病情。医生对他说，几天之内即可回家，但没有几个月可以活了。说完他让我们看放在床边的一个笔记本，告诉我们那是他关于核物理的笔记。他计划出院后利用剩下来的两个月时间将它修改出版。盖尔曼和我被他的坚毅精神和对物理学的热诚所感动，有好一会我们不敢正眼看他。（我们探望后不出 3 周，费米就去世了。）

有人说，人的生命不应以年，而应以成功的事业来衡量。恩里科·费米的多种事业之一是作为芝加哥大学的一名教师。他曾直接或间接地影响了我这一辈的众多物理学家，这是有案可查的。下面是 1946 至 1949 年在芝加哥大学作研究生的物理学家的部分名单（我 1949 年离开芝加哥，不熟悉他后来的学生）：阿格纽（H. M. Agnew）、阿尔戈（H. V. Argo）、张伯伦（O. Chamberlain）、丘（G. F. Chew）、法韦耳（G. W. Farwell）、戈文（R. L. Garwin）、戈德伯格（M. L. Goldberger）、拉扎若斯（D. Lazarus）、

李政道(T. D. Lee)、莫芮什(A. Morrish)、芮茨(J. R. Reitz)、罗森布鲁思(M. N. Rosenbluth)、塞洛夫(W. Selove)、斯坦伯格(J. Steinberger)、斯顿海默(R. M. Sternheimer)、沃萧(S. Warshaw)、沃吞伯格(A. Wattenberg)、沃尔芬斯坦(L. Wolfenstein)、威尔科克斯(H. A. Wilcox)、杨振宁(C. N. Yang)。

附:《介子是基本粒子吗?》(1949)一文之后记

1947年,几种介子的发现使人们普遍认为,它们全都是基本粒子。费米提议同我一起研究,看看 π 介子是否可能并非基本粒子,或许它是由其他粒子组成。我们在1949年夏研究了这个问题并写成论文。

这是我同费米合写过的唯一一篇论文。他写作的方式很有趣。如果某处地方要修改,他就把那部分剪掉,粘贴上新改好的部分。这样,有些页便变成了长长的纸卷。他一旦决定了如何遣词造句,就不轻易改变主意。我的习惯则迥然不同。在用词上我喜欢改来改去,直到今天还是依然故我,丝毫未变。

向往普林斯顿

——《粒子湮灭》(1950)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[50a]〈一个粒子湮灭成两个光子的选择定则〉一文之后记》。本标题为编者所加。

我在芝加哥大学那几年，每周都举行物理系和化学系教师共同参加的讨论会。这种讨论会是非常不正式的，有时并没有预定的报告人。讨论会的论题十分广泛：这周讨论考古学中的碳14测定年代法，下周的论题可能就会变成关于元素起源的推测，等等。由于有费米、泰勒和H. Urey出席，讨论会总是谈笑风生、气氛活跃，绝对不会出现冷场。1949年的一天，有人在讨论会上提到，发现了π^0介子湮灭成两个光子的事实。听到这个消息后，泰勒马上争辩说，这一发现表明π^0介子的自旋为零。他的论据太简陋，经不起推敲。过后，我想到了这个问题，第二天便找到了正确的选择定则，其结果就是《一个粒子湮灭成两个光子的选择定则》一文。

论文的第一部分(第Ⅱ节)是简单而又直觉的，给出了全部选择定则。为了论证相因子的乘积性，需要一种场论方面的形式讨

论。这种讨论在第Ⅳ节中给出。这一节的研究对我后来的工作很有用,因为它加深了我的这种认识:公式(8)、(16)、(19)及(A)等不仅在形式上是正确的,而且,在合适的场合下,它们也具有实验上的意义。这些方程是场论中对称概念数学形式的核心。

[50a]是我在对称原理方面发表的第二篇论文。它使我的兴趣驻足于这一领域。

作为[50a]的续篇,[50b]利用了一个标量或赝矢量介子衰变成的两光子偏振平面的关联之间的差异。

1949年春,我请费米和泰勒把我推荐给普林斯顿高等学术研究所所长奥本海默(J. R. Oppenheimer),因为我申请到那里去做博士后。费、泰两人好心地满足了我的要求。我接到聘书时,费米劝我在那里至多呆上一年,不要太久,因为他觉得高等学术研究所的研究方向一般说来太抽象。事实上,他和 S. A. Allison(萨姆·艾里逊)、泰勒一道出面同芝加哥大学当局谈妥,保证在1950年把我返聘回来。

离开芝大时,我清楚地知道,三年半的时间里(1946—1949),我得益于芝大匪浅。不过,我还是热切地盼望到普林斯顿高等学术研究所去,尤其是泡利(W. Pauli, 1945年诺贝尔物理学奖得主,译注)和朝永振一郎(1965年诺贝尔物理学奖得主,译注)预定将要到那里去访问。同时,在那里还有许多才华出众的青年理论物理学家,如 K. Case, F. J. Dyson(戴逊)、R. Jost(乔斯特)、R. Karplus, N. Kroll(克劳尔)和 J. M. Luttinger(路丁格)等等,他们被认为是重整化理论的活跃分子。

1949年,中国发生了巨变。5月25日,国民党人从上海溃退。我深切地挂念着家里的父母兄弟姐妹,他们几个月前刚搬到上海。犹豫了几天,我终于认定,我有权同父母取得联系并探询他们的境况,于是便给父母拍了一封电报。令我喜不自胜的是,

第二天迅即收到他们两个字的复电："平安"。这个经历鼓舞着我，在随后中美之间完全疏远的20多年里，我一直同父母保持联系。令人高兴的是，这种联系在后来的岁月中对我起着决定性的影响，包括在中美和解的迹象一经显露我就当机立断决定访问中国这件事。

因为杜致礼……

——《海森堡表象》(1950)一文之后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 with Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科学技术出版社，1989 年 9 月。译者甘幼玶。原标题为《[50d]〈海森堡表象中的 S 矩阵〉一文之后记》。本标题为编者所加。

论文[50d]是同 D. Feldman 合作研究海森堡表象中的 S 矩阵的成果。海森堡表象是具有最直接的物理诠释的一种表象。虽然我们的形式体系是自然而富有吸引力的，但我们的主要努力(即直接计算海森堡表象中的 S 矩阵)并没有成功。这种努力使我们认识到，每个费曼(R. P. Feynman, 1965 年诺贝尔物理学奖得主，译注)图可把我们的形式体系所推得的许多项紧凑而又美妙地结合在一起，表示成包含费曼函数 D_F 和 S_F 的单一项。然而，在高阶过程中直接证明这一命题的尝试并没有成功。

泡利对我们的工作很感兴趣，因此，其他博士后同学便告诫我们，泡利的关注意味着麻烦。我们明白，如果研究不取得进展，他就会表示生气的。后来我学会了对付他的办法：一定不要怕他。这样做之后，泡利和我保持着良好的关系。

1950 年春，奥本海默给了我高等学术研究所五年的聘书，我

还得到了其他几个单位的聘书。但令我最费踌躇的是究竟回不回芝加哥。我记得费米的劝告:不要在高等学术研究所呆得太久,因为那里所研究的物理学太抽象。我也欣赏费米的这种见地。但最后,我还是拿定主意留在研究所,因为当时我正在同杜致礼小姐谈恋爱。其时她在纽约市求学,从普林斯顿乘车到那里只消一个钟头。

致礼是1944—1945年我在昆明一所高中所教班上的学生。那时,我们相互间并不太熟悉。1949年圣诞假期的一天,我同Luttinger(路丁格)在普林斯顿Witherspoon街茶园餐厅吃饭时偶然遇到她。8个月后,即1950年8月26日,我俩结为秦晋之好。

开始研究 Ising 模型

——《二维 Ising 模型》(1952)一文之后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年 9 月。译者甘幼玶。原标题为《[52a]〈二维 Ising 模型的自发磁化〉一文之后记》。本标题为编者所加。

遵照费米的劝告，我尽量对物理学的各个领域保持兴趣。1950—1951 年间，我研究了各种各样的课题，其中两个对我日后的工作极为有用，那就是时间反演不变性问题及 β 衰变理论。自从做博士论文以来，我一直对后一个问题感兴趣。

1951 年春，奥本海默把施温格(J. Schwinger)的一篇题为《量子化场论，I》的论文预印本拿给我看。该文引入了一个时间反演操作，后来被称为"施温格(J. Schwinger)时间反演"。读过这篇论文后，我给施温格(J. Schwinger)写了一封信。信中，我争辩说，是否把电荷共轭同时间反演结合起来，这是无关紧要的。回想起来，令我饮恨的是，由于自己没有研究局域场论的不变性质，因而错过了发现 CPT 定理的机会。

1950 年夏，有人做了一些 β—γ 关联的实验，导致了库仑场对这种关联效应的许多讨论。10 月，E. Merzbacher(墨士拜契)

和我较深入地研究了这个问题。我们并未取得什么激动人心的成果，但通过这项工作，我们彻底地弄通了 M. E. Rose(鲁斯)的一篇文章[刊于 Phys. Rev.，51(1937)，484]。这个经验对后来我研究宇称不守恒中的库仑效应非常有用。

1951 年初，我开始深入研究 Ising 模型问题。Ising 模型是统计力学中一个著名的铁磁性模型。因为做硕士学位论文的干系，我对它熟悉。昂萨格(L. Onsager，诺贝尔化学奖得主，译注)在 1944 年出人意料地求得了二维情况下该模型配分函数的准确表达式。这可真是一件令人拍案叫绝的杰作。1947 年春在芝加哥时我钻研过他的论文，但始终未弄懂其方法。他所使用的方法极为复杂，内中变了许多代数"戏法"。1949 年 11 月初的一天，在往返于普林斯顿大学对面的巴尔麦广场与研究所之间的街车上，Luttinger(路丁格)偶尔和我谈及 Ising 模型。Luttinger 说，Bruria Kaufman(考夫曼)已经把昂萨格的方法简化，因而他的解可以通过 2n 个一系列反对易厄米矩阵而搞清楚。我对这种表象了解得很多，因而很容易就掌握了昂萨格—考夫曼方法的要点。一回到研究所，我就推导出昂—考解法的基本步骤，并为终于理解了昂萨格的解法而高兴。那天下午，我向 Luttinger 提议合作研究，把昂—考方法推广到三角点阵的情形。当时他正忙于其他课题而不想分心。我考虑了一下，觉得这样的问题还不够过瘾，因而放弃了原来的打算。

但我并没有放弃 Ising 模型的研究。我一直在想着它，并弄清楚了，昂萨格和考夫曼不单只得到了配分函数(它由变换矩阵的最大本征值决定)，还得到了许许多多的其他信息。事实上，他们的方法给出了所有的本征值和本征矢。沿着这个方向，1951 年正月，我得出结论：自发磁化与具有最大本征值的两个本征矢之间的非对角矩阵元有关。我感到，利用隐藏在昂—考方法中的

其他信息,便能把这个矩阵元计算出来。

于是我着手做了一个冗长的计算,这是我的物理学生涯中最长的一个计算。它曲曲折折,处处都要用到一些技巧,碰到数不清的障碍。然而,过不了几天,总会发现一些新诀窍,指明新的路子。问题是,我很快就感到自己处在一个迷魂阵里,搞不清楚经过这许多峰回路转以后,究竟是否比出发时更接近原定的目标。这种感觉是非常令人沮丧的,好几次我差不多要洗手不干了。但每一次总有些什么东西把我拉回来,通常是一个新的诀窍使事情豁然开朗,哪怕是仅照亮了其中的一个局部。

经过大约6个月的断断续续,终于,所有的片断突然融合在一起,产生了奇迹般的各项相消的情形。我眼睁睁地盯着出奇地简单的最后结果,那就是这篇论文的(96)式。我把方程按参数 x 的幂进行级数展开,因为我的计算中有些极限过程不太严格,所以便把这种展开同 Van der Waerden(范登)的以及 Ashkin(阿希根)和 Lamb(兰姆)的展开(已知他们的展开直到 x^{12} 都是准确的)进行比较。一直比到 x^{12} 项之后,我才感到放心:两者完全一致。这是1951年6月,再过一周,我的大孩子弗兰克林(光诺)便降生了。1952年张承修把这篇论文的方法推广到矩形 Ising 模型的情形。他的论文也许包含了对临界指数"普适性"的最早推测。

这篇论文的结果与昂萨格对长程序的计算相符。他早几年前在一次会议上宣布了自己的计算结果。我想,他从未发表过自己的这个计算。1970年,他谈了有关其方法的一些奇闻逸事。Ising 模型是一个不断地使人感到诧异的问题。从物理方面来说,1950年代有些人认为它不过是一种有趣的数学游戏,不值得太过于认真地对待。1960年代,情况发生了戏剧性的变化。人们发现,Ising 模型不仅对铁磁性研究极其重要,对其他许多种相变问题也同样重要(见[64e])。到了1970年代,人们逐渐弄清

楚，这个模型同场论也有非常密切的关系。从数学方面来说，提出了攻克这个问题并求得多点关联函数的各种新的巧妙方法。R. Baxter(巴克斯特)还找到了八顶角模型问题的解答，而这个八顶角模型把 Ising 模型作为一个极限情形包含在内了。

1956 年 3 月，M. Fisher(费希)、M. Kac(卡斯)、昂萨格和我应 W. C. de Marcus(迪马卡斯)邀请到肯塔基大学讲授统计力学(顺便插一句，那次讲学对我们来说是一趟有趣的经历。我们被当作肯塔基上校那样安顿在阴森而又矫饰的 Carnahan 宫里)。离开列克星顿时，昂萨格和我要在机场候机几个钟头。我问他怎么会想出 1944 年那篇论文的复杂代数步骤的？他回答说，在二次大战期间，有的是时间，因此他着手去把变换矩阵对角化。E. Montroll(蒙脱)，还有 H. A. Kramers(克拉默)和 G. H. Wannier(沃尼)曾经讨论过这个问题。他从 $2\times\infty$ 点阵开始，然后考虑 $3\times\infty$、$4\times\infty$ 点阵。接着再对付 $5\times\infty$ 点阵，变换矩阵的大小是 32×32 阶。那是相当大的矩阵，因为手头上有处理较小矩阵所积累的经验，他花一点时间，便找到了全部 32 个本征值。于是，他又去考虑 $6\times\infty$ 的情形，也终于把这 64×64 阶矩阵成功地对角化了，求出的所有本征值都具有下述形式：

$$\exp(\pm\gamma_1\pm\gamma_2\pm\gamma_3\pm\gamma_4\pm\gamma_5\pm\gamma_6)$$

[这是实际情形的简化说法，参见昂萨格原文，即 Phys. Rev., 65 (1944), 117 中的(97)、(98)两式。本征值的稍为更复杂的规则或许能解释，为什么由早先较小的矩阵，不能发现这样的规则。]由此得到一个概念，即这个问题所用的代数是一种乘积代数，这也就是他那篇论文之技法。

合作研究统计理论

——关于《状态方程》(1952)两文的后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[52b、c]〈状态方程和相变的统计理论，Ⅰ. 凝结理论；Ⅱ. 格气和Ising模型〉两文之后记》。本标题为编者所加。

1951年秋，李政道来到高等学术研究所，我们恢复了彼此之间的合作。我们钻研的第一个问题是二维Ising模型的磁导率。正如[52a]一文的后记所述，昂萨格—考夫曼方法给出了关于变换矩阵全部本征值的信息。我曾用其中一些信息计算出了磁化强度，因此我认为，或许可以用其余的信息通过二阶微扰法(比推导[52a]的(14)式高一阶的微扰)计算出磁导率。结果导得了一个比计算磁化强度困难得多(比方说，难十倍)的公式。做了几个星期，我们便洗手不干，转而研究格气问题，随后研究迈耶(J. Mayer)的汽—液相变理论，最后转到单位圆定理。这些研究的成果就是论文[52b]及[52c]。

许多物理学家心目中或多或少有格气的概念(参见[52c]的参考文献2)。我们肯定了这个概念并对之作了详细说明，运用

论文[52a]的结果，我们能够找出简单二维格气准确的两相区域（我们对“常直径定律”特别满意，它类似于实验得到的“直线直径定律”）。两相区由 p—v 图上的一段平直部分构成，它的两边分别是液相和汽相。据此，我们自然会提出这样的问题：何以迈耶的凝结理论所给出的等温线直到液相区仍保持平直而不变成曲线？

迈耶的凝结理论是平衡态统计力学中的一个里程碑，因为它打破了相变中传统的平均场研究方法。它在 1937 年 11 月 26 日的范德瓦尔斯诞辰 100 周年纪念会上引起了一阵激烈的辩论（见[71b]）。随后几年，迈耶的理论引出了迈耶本人、B. Kahn（卡恩）、G. E. Ulenbeck（乌伦拜克）及其他人的一系列论文。1940 年代初，我在昆明听了王竹溪先生就这方面的发展所作的一系列演讲，自那以后，对这个问题一直很感兴趣。

应用格气模型（我们已掌握有关它的许多准确的知识），李政道和我对这种情形下迈耶理论的应用问题作了考察。并研究了无限大体积下巨配分函数计算中的极限过程。论文[52b]就是这个研究的成果。它搞清了极限过程，并澄清了一条等温线之各部分同极限过程之间的关系。

1952 年末，论文[52b]发表之后，爱因斯坦让他的助手 Bruria Kaufman（考夫曼）来请我去见他。我随她到了爱因斯坦的办公室，他对该文表示了极大的兴趣。这并不奇怪，因为热力学和统计力学是他最喜爱的领域之一。不巧的是，这次谈话（这是我同爱因斯坦谈得最多的一次）对我来说收获不大，原因是我不大听得懂他的口音。他说起话来很温柔；而我则因为同长久以来崇拜的一位伟大物理学家如此亲近而感到局促不安，所以难以把注意力集中在他的字句上。

话再说回来。1951 年秋，为了使自己熟悉格气问题，李政道

和我计算了格点为2、3、4、5等几种小型格气情形下的配分函数。令我们惊异的是，对粒子间的相互吸引作用来说，配分函数的根(它们是逸度的多项式)全都在一个单位圆上。我们被这个现象强烈地吸引住，很快就推测到，对具有吸引互作用的任意大小的点阵来说，这个结论普遍成立。这个结论后来被称为单位圆定理，它在[52c]被用作讨论热力学的主要工具。

证明这个猜测的尝试，对我们来说是一场苦斗，我曾在1969年9月30日致M. Kac(卡斯，其时，他正在编纂Geoge Polya的论文集)的信中述说过这一点。兹摘引该信如下：

> 随后，基于耦合强度改变时没有重根这一点，我们作了一种物理学家式的"证明"。我们很快就认识到，这种做法是不正确的，至少在6个星期之内，我们都在为试图证明这个猜想的徒劳无功而感到沮丧。我记得，我们查阅Hardy(哈代)关于不等式的书，同冯·纽曼(Von Neuman)及Selberg(塞尔伯格)交换意见。当然，我们还一直同您保持联系(我愉快地记得，后来您把Wintner的论文介绍给我们。我们在论文中对您的帮助曾表示过感谢)。我记得在12月初，您把所有耦合都存在且它们的强度都相等这种特殊情形下的证明办法告知我们。这种证明正是您现在所写的与普利亚的选集有关的那部分。这个证明很妙，但我们仍不满足于这种特殊情形下的结果，一心要解决普遍情形下的问题。随后，12月20日左右的一个晚上，在家里工作时，我忽然领悟到，如果使Z_1、Z_2、…成为独立变量，并研究它们相对于单位圆的运动，就可以用归纳法并通过类似于您所用的那种推理方法求得完整的证明。一旦有了这个想法，只消几分钟，就可以把证明的所有细节弄出来。
>
> 翌晨，我开车同李政道去弄几棵圣诞树，在车上我把这个证明方法告诉了他。稍晚些时候，我们到了研究所。我记得，我在

黑板上给您讲述了这个方法。

这一切我都记得很清楚，因为我对这个猜测及其证明感到很得意。虽说这不是什么伟大的贡献，但我满心欢喜地把它当作一件小小的杰作。后来，单位圆定理被推广到可加型互作用这种非常有趣的情形。

李政道和我在1952年初感到，对二维Ising模型来说，通过单位圆定理，我们可以在某种程度上确定(或猜出)单位圆上根的分布函数 $g(\theta)$([52c]的第V节)。我们满以为，通过已知的自由能和磁化强度的准确表达式，便掌握了关于 $g(\theta)$结构的强有力的线索。不巧的是，这些线索并不足够强有力。直到今天，$g(\theta)$的准确形式依然是一个未知数。

不过，我们在这个方向上的努力确已引出了两个有用的成果。1952年2月底左右，参加一个讨论会时，我学到了M. Kac和J. Ward(华德)关于求解无外加磁场Ising问题的一种新颖而又巧妙的组合方法。在讨论会上，我想到，把Kac-Ward的办法稍加修改，便可求出处在虚磁场 $H=i\pi/2$ 中的Ising模型的配分函数。这涉及到计算一个 8×8 矩阵，李政道和我在随后的几天之内完成了这一计算，求得[52c]的(48)式，即 $H=i\pi/2$ 情形下的自由能。

把这个表达式同大家熟知的昂萨格在 $H=0$ 情况下求得的同一个量两相对照，李政道和我发现，除了某些符号改变及由此而引起的变化之外，它们很相似。看来，把 $H=0$ 变到 $H=i\pi/2$ 是无关紧要的。因此，我们尝试着对 $H=0$ 的磁化强度做同样的微小改变，并通过检验它们是否与 $H=i\pi/2$ 时磁化强度级数展开的前几项相符来校核这个结论。这是一种很好的办法，我们很快就得出[52c]的(49)式。我们知道该式正确，但无法证明。最后，B. M. McCoy和吴大峻在1967年证明了它。

初访布鲁克海文实验室

——《1952年5月5日致费米的信》之后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 with Commentary, Freemen and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。本文标题为编者所加。

这封信是我在1952年春、夏访问西雅图的华盛顿大学时写的。

1952—1953年对我来说一事无成。我在强耦合理论和加速器设计的强聚焦原理(由E. Courant, S. Livingston和H. Snyder所发明)两者之间摇来摆去。我也保持着对π介子——核子散射及宇宙线实验的兴趣。我的努力并没有得到任何有用的成果。或许,我在那一年里所做的最有用的一件事是使自己对J. de Boer(德波尔)关于液氦的讲学感兴趣。对我来说,这是一个新的物理领域。幸而,我仍然感到心安理得而信心十足,并未因一事无成而过分烦恼。

1952年12月中旬,我收到布鲁克海文国家实验室Cosmotron加速器部主任G. B. Collins(柯林斯)的一封信,邀请我在1953—1954年到他们那里访问一年。1952年12月18—20日的第三届罗彻斯特会议上,R. Serber(舍勃)进一步把该实验室的情

况以及与这项邀请有关的事宜告诉我，于是我便决定接受布鲁克海文的职位。

1953年夏，我搬到长岛上的布鲁克海文。这里有当时世界上最大的加速器即Cosmotron，其能量高达3GeV。它产生π介子和“奇异粒子”，在那里工作的各个实验小组不断获得非常有趣的结果。为了熟悉实验，我习惯于每隔几周便到各实验组去拜访一次。与在普林斯顿研究的物理学相比，感受是十分不同的。我认为，两种感受各有长处。

那年夏天，布鲁克海文来了许多访问学者，物理学的讨论、海边郊游、各种频繁的社交活动，好不热闹！随着秋天到来，访问学者们纷纷离去，我和妻、儿在实验室的一座由老兵营改建成的公寓里安顿下来，开始过一种宁静的生活（实验室就是原来的老厄普顿兵营）。四周有树林子围绕，我们常常在林中长时间地散步。周末，我们驱车去探索长岛各处。我们越来越喜欢蒙塔乌克点、大西洋海滩、野林子公园，以及布鲁克海文附近那些朴实的岛民。一个飘雪花的星期天，我们漫无目标地开车沿北岸驶去，来到一处迷人的小村庄。我们被购物中心周围那美丽的景致迷住了，便在地图上查找它的名字，原来它叫斯托尼·布鲁克（Stony Brook，意即石溪）。当时我们并不知道，下一次（1965年）再到石溪来时，这里就成了我们的新家。

1953—1954年，在布鲁克海文做了一系列关于多重介子产生的实验。R. Christian（克里斯汀）和我计算了各种多重态的相空间体积，我们很快就明白，必须使用计算机才行。那时，在纽约市的IBM公司里，IBM计算机已投入运行。那是第一台701机——所有IBM计算机的老祖宗。通过Serber，我们使用了该机几分钟。Christian知道如何编程序，我们就写了一个简单的。那时还没有FORTRAN语言，因此所写的是机器语言，有成千上万

条语句。我们必须随时估计所求的数的大小并把记录器相应地左右移动，以免有意义的数字被抹掉。Christian 是编程序的能手，而我开始时觉得它十分好玩。然后，我们开始着手调试程序，在语句中发现了许许多多由于粗心大意而铸成的错误，我便泄了气，而 Christian 则坚持到底，并使我们的程序通过了。多年以后，我学了 FORTRAN，深深埋怨自己何以竟未想到要发明程序语言。其实我有两次机会：1952 年我就同 H. Goldstine（戈德斯坦）在普林斯顿探讨过使用计算机（JOHNIAC 机及 MANIAC 机的后代）的可能性；1954 年又有上面所述的经历。

令我走火入魔的规范场
——关于《同位旋守恒》(1954)两文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[54b、c]〈同位旋守恒和同位旋规范不变性〉两文之后记》。本标题为编者所加。

在昆明和芝加哥当研究生时，我详细地研读过泡利关于场论的评论性文章。我对电荷守恒与一个理论在相位改变时的不变性有关这一观念有深刻的印象。后来我才发现，这种观念最先是由韦耳(H. Weyl)提出来的。规范不变性决定了全部电磁相互作用这个事实本身，给我的印象更深。在芝加哥时，我曾试图把这种观念推广到同位旋相互作用上去，所用的程序就像后来在论文[54c]中写出式(1)、(2)的那样。从这两个式子着手，很容易就推得式(3)。然后，我试图把场的强度$F_{\mu\nu}$定义为

$$F_{\mu\nu}=\frac{\partial B_{\mu}}{\partial x_{\nu}}-\frac{\partial B_{\nu}}{\partial x_{\mu}},$$

这个式子是电磁学的一种“自然的”推广。这样一来，我便走入了困境，不得不罢手。然而，基本的动机仍然吸引着我，在随后几年里我不时回到这个问题上来，可每次都在同一个地方卡壳。当

然，对每一个研究学问的人来说，都会有这种共同的经验：想法是好的，可老是不成功。多数情况下，这种想法要么被放弃，要么被束诸高阁。但是，也有人坚持不懈，甚至走火入魔。有时，这种走火入魔会取得好的结果。

随着越来越多介子被发现，以及对各种相互作用进行更深入的研究，我感到迫切需要一种在写出各类相互作用时大家都应遵循的原则。因此，在布鲁克海文我再一次回到把规范不变性推广出去的念头上来。同我合用办公室的米尔斯(Mills)是哥伦比亚大学 N. Kroll(克劳尔)手下的研究生，即将取得博士学位。我们共同研究这个问题，最后写成[54c]。我们还为 1954 年 4 月在华盛顿召开的美国物理学会年会写了一篇摘要性的文章，那就是[54b]。这两篇文章各自强调了不同的动机。

我们的工作并没有占用很长的时间，主要部分在 1954 年 2 月就完成了。但我们发现，“规范粒子的质量是多少”这个问题无从回答。我们玩弄量纲分析之类的小把戏，对纯粹的规范理论而言，开始时并没有一个具有质量量纲的量，因此规范粒子必须是无质量的。但我们很快就摒弃了这种讨论问题的方法。

2 月末，奥本海默邀请我回普林斯顿就我们的研究工作讲学几天。泡利那一年恰好在普林斯顿访问，他对对称和互作用问题很感兴趣〔他曾用德文粗略地写下了某种想法的概要，寄给 A. Pais(佩斯)。几年后，F. J. Dyson(戴逊)把这一概要译成了英文。概要的开头有这样的注记：“写于 1953 年 7 月 22—25 日，目的是想知道它看起来究竟像个什么样子。”而标题则是《介子与核的互作用和微分几何》〕。第一天讲学，我刚在黑板上写下：

$$(\partial_\mu - i\epsilon B_\mu)\psi,$$

泡利就发问道：“这个场 B_μ 的质量是什么？”我答曰“不知道”，便

接着讲下去。他很快又打断我的话头，问了同一个问题。我大概讲了"这个问题很复杂，我们研究过，但没有肯定的结论"之类的话。我还记得他很快就接过话题说："这不成其为一种托辞。"我自知说错了话，沉吟半晌，便坐下了。大家都觉得很窘。后来，还是奥本海默发话："好了，让弗兰克（杨振宁的英文名字，译注）继续说下去吧。"这样，我才又接着讲下去。此后，泡利不再提任何问题了。

我记不起讲完以后的事情了。然而，第二天我收到了下面这张便条：

亲爱的杨：

很抱歉，听了你的讲学，使我几乎无法再跟你谈些什么。祝好。

诚挚的

泡利　2月24日

我跑去找泡利，他说："你应该找薛定谔的一篇文章来看看。那上头有类似的数学表述。"回到布鲁克海文后，我查到了这篇论文。它讨论的是重力场中狄拉克电子 γ_μ 矩阵的时—空相关表象问题。其中的数学式子一方面与黎曼几何的方程有关，另一方面又与我和米尔斯所研究的类似。然而，多年以后我才明白，薛定谔和我们的数学都是纤维丛上的联络这个数学理论的不同情形。

回到布鲁克海文，G. Snow（斯诺）、R. M. Sternheimer（斯顿海默）和我对新近发现的核——核散射极化现象感兴趣，于是写出[54a]这篇论文。之后，我返回来研究规范场。米尔斯和我希望消除那些附加条件。我们试图按费米处理电磁学所作的那样，把纵向场分离开来。这使得计算十分复杂，我们的尝试没有成功。

我们究竟该不该发表一篇论述规范场的论文？在我们心目

中,这从来不成其为一个真正的问题。我们的想法是漂亮的,应该发表出来。但规范粒子的质量如何?我们拿不准。只有一点是肯定的:失败的经验告诉我们,非阿贝尔情形比电磁学更错综复杂得多。我们倾向于相信,从物理学的观点看来,带电规范粒子不可能无质量。虽然没有直说,但论文[54c]的最后一节表明了我们倾向于这种观点。这一节比前面几节都难写。

泡利是第一个对我们的文章表示了浓厚兴趣的物理学家。这不奇怪,因为他熟悉薛定谔的论文,而且他本人曾试图把相互作用同几何联系起来,一如他1953年7月22—25日所写的致Pais(佩斯)的那篇注记所表明的那样。我经常纳闷,如果泡利能活到60年代乃至70年代,他对此论题究竟会说些什么?

1954年2月我在普林斯顿见到奥本海默时,他并没有什么异样。两个月后,我从《纽约时报》得悉他遇到了麻烦①。于是,我明白了,事实上,我在普林斯顿见到他时,他已在起草给原子能委员会Nichols将军的那封长信了。

注:

① 在麦卡锡反共歇斯底里年代,奥本海默被指控与共产党人有联系,并被指控反对美国发展氢弹的计划。1954年4月,美国原子能委员会和保安部门对奥本海默进行了长达3个星期的聆讯。译注。

优雅的四元数

——《重粒子守恒》(1955)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[55b]〈重粒子守恒及广义规范变换〉一文之后记》。本标题为编者所加。

我在安阿伯度过了1954年的夏天,秋后搬回普林斯顿。李政道和我在1954—1955年间的许多想法当中,有关于规范场的各种各样的问题,论文[55b]是其中的一个成果。该文所讨论的内容与当今关于质子衰变的观念有直接的关系。

另一类问题是关于用有旋场中的二次表达式去代替[54c]的B_μ,但未求得有用的结果。

我们还花了不少时间试图发展一种基于四元数而不是基于复数的场论。这种想法是,写下

$$\Psi = \psi_n + j\psi_p \qquad (1)$$

式中ψ_p及ψ_n分别是通常的质子和中子的波函数,它们是些复数,并且j、k和i构成四元数代数的虚数单位。于是,Ψ就被认为是一个四元数场。如果α、β是满足下式的两复数

$$\alpha\alpha^* + \beta\beta^* = 1,$$

则 $(\alpha + j\beta)\Psi = (\alpha\psi_n - \beta^*\psi_p) + j(\beta\psi_n + \alpha^*\psi_p)$。

如果我们把它写成

$$\psi_n' + j\psi_p',$$

则 $\psi_n' = \alpha\psi_n - \beta^*\psi_p$,

而 $\psi_p' = \beta\psi_n + \alpha^*\psi_p$,

这是一种 SU_2 旋转。因此,用一个绝对值为 1 的四元数 $\alpha + j\beta$ 左乘 Ψ,就产生一个 SU_2 旋转。此外,如果 ξ 是任何满足 $\xi\xi^* = 1$ 的复数,则显然

$$\xi^{-1}\Psi\xi = \psi_n + j(\xi^2\psi_p),$$

于是,$\xi^{-1}\Psi\xi$ 产生一个电磁规范变换。换句话说,对 ψ_n 和 ψ_p 的两个最重要的变换全都被单一的场 Ψ 的四元数语言非常简单地表示出来了。

在普通场论中,一个复数表示一对带荷粒子。在四元数理论中,一个四元数场将表示四个粒子。复代数中的相与电磁学有关。四元数代数中的相将与同位旋规范场有关。

如果四元数是场论的基础,则同位旋对称的存在本身就可以得到解释,一如电荷共轭对称可由通常场论中使用的复代数来解释那样。关于这点,可参阅我对 Tiomno(蒂欧姆诺)在 1957 年 4 月 15—19 日举行的第七届罗彻斯特会议上所作报告的评论。也请参阅论文[59c]及[72c]。

1954—1955 年间,我们在发展四元数理论方面并未获得成功,只不过把通常的理论用四元数语言重写一遍而已。后来我多次尝试,也没有成功。但我一直确信这个方向是对的。SU_2 对称的存在,一定有一个理由,因为在最根本的层次上,造化的安排一定不会是无缘无故的,这种说法业已不止一次地得到过应验。

除此之外，我们期待着的解释，极可能要用到四元数代数，因为四元数代数的对称性确实是 SU_2 的。此外，四元数代数是一种美丽的结构。诚然，它是非对易的。但是我们已经知道，造化选择了非对易代数作为量子力学的语言，她怎么会拒绝使用这仅有的另一种可能的美妙代数作为她在宇宙万物中建立起来的所有复杂对称性的语言呢？

如果这一切听来都顺理成章，那么，困难何在？这就匪夷所思了。显然，某些关键的观念还没有找到。是否因为我们对四元变量函数的理论还未理解透？也许如此。或者，这是因为时间—空间本身就应该用一个四元变量来描述？这也有可能。或许，它比这些都要简单得多？

四元数是哈密顿(W. R. Hamilton)在 1843 年发现的，他为其深邃的美所震慑，并自认为这是他最重要的贡献。在发现四元数以后的有生之年(共 22 年之久)，他把精力都花在用四元数去表述物理学和天文学中的一切。他并没有成功，大家普遍地认为他搞错了方向。E. T. Bell 在《数学家传》一书中，有关哈密顿的一章使用了“爱尔兰的悲剧”这样的标题。下面摘录这章的一段：

> 在他获得的荣誉中，最使他感到高兴的是他临死时所得到的那最后一项：被遴选为美国国家科学院(内战时期建立的)外籍院士。这个荣誉主要是褒奖他对四元数的研究。由于某种奥妙，那时美国数学家(只有一两个，以哈佛大学 Benjamin Peirce 为首)对四元数比对牛顿的《自然哲学的数学原理》一书发表以来的其他英国数学表现出更大的兴趣。为何四元数很早就能在美国普及开来，至今仍令人百思不得其解。也许，《四元数讲义》的夸夸其谈迎合了美国这个年轻而又精力旺盛国家的口味。这个国家还有待于成熟起来，以克服掉对参议院雄辩术及对 7 月 4 日(即美国国庆日——译注)那种说在嘴上的激情的嗜好。

这也许是 Bell 的最尖刻的讥讽，我相信他会陶醉于自己的“妙语连珠”而自鸣得意、乐不可支。可是造化的确要挑选最优雅而独一无二的数学结构来建造世间万物，而四元数作为一种数字系统确系优雅和独一无二的。哈密顿的愿望也许终会实现。

奇异粒子的理论解释

——在第六次罗彻斯特会议(1956.4)上的报告

原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989 年 12 月。译者高成群。

1. 上周三，我们被领到“粒子大家庭”，在那里游览了两天。今天早晨在我们离开“粒子家庭”之前，想问一下，“我们学到了什么?”沿着这个方向应由我向大家介绍理论的讨论。我要告诉大家的事情尚不能形成一幅清晰的图像，一幅清晰的图像并不存在。可是我的确希望自己能给大家一幅激动人心的、挑战性的图像以激起进一步的实验和深一层的思考。

过去的一年我们目击了关于奇异粒子知识的很有意义的进展，其中最重要的也许是“奇异”量子数的概念牢固地树立了起来。正如大家记得的，这些考虑的出发点是这样的一个谜，即虽然奇异粒子在 BeV 及其以上的能量下极其丰富地产生出来(例如，为 π 介子的百分之五)，而它们转变为 π 介子和核子的衰变却是相当缓慢的($\sim 10^{-10}$秒)。既然 π^{-} 核子相互作用的时间标度是 10^{-23}秒的数量级，令人甚为困惑的是如何把这些客体的丰富性与它们的长寿命(10^{13}时间标度单位)协调起来。1952 年，佩斯(Pais)提出，走出这一困境的途径是得假定：一个奇异粒子总是

与其他奇异粒子协同产生。这一假定立即为直接的实验证据所支持。

解释协同产生现象的自然方法就是，在衰变机制中存在某种选择定则，它阻止强相互作用的影响。看一眼观察到的许多产生、反应和衰变机制，的确表明人们可以给每一种奇异粒子规定一个奇异量子数，并规定在一切快速相互作用中，奇异数是相加保持不变的，而且在所有观测到的衰变中，奇异数并不保持不变。这个规定在1953年由盖尔曼(Gell-Mann)和西岛(Nishijima)首先做了讨论，该规定是：

$S=0$　　普通粒子(π、N、P和γ)

$S=+1$：　θ^0、K^+

$S=-1$：　Λ^0、$\Sigma^\pm$、$\Sigma^0(?)$、K^-、$\overline{\theta^0}$

$S=-2$：　Ξ^-

在这里提出一点注意是合适的：两个电荷共轭粒子其S值一定是数值相等，符号相反，这是由于在一个快速反应中，一个粒子总可能移到反应的另一边，变成它的反粒子以保持反应是快速的。

奇异数守恒的概念有以下用途：某一反应是快速的(时间标度10^{-23}秒)，如果它满足能量、动量、角动量、宇称、电荷、重子数和奇异数等全部守恒定律，并且不包含γ射线的话。如果反应涉及γ射线，则反应强度减弱1/137。如果反应破坏了奇异数选择定则，其强度就减弱其一因子，如10^{-12}。对μ、e和ν不规定任何奇异数，但是除电磁相互作用外，它们被认为可以比强作用弱10^{-12}的强度起作用，以后我们将再回到这个论点上来。

奇异数守恒是由盖尔曼和西岛在1953年提出的，去年得到了实验的强有力的支持，这些支持是：

(1) 协同产生好像是普遍法则。但$N+N\rightarrow\Lambda^0+\Lambda^0$的协同

产生，尽管阈最低，可是确实具有低得多的几率，这一事实的重要性在于它使按照宇称考虑的任何产生选择定则都是不可能的。

(2) 为了在奇异数机制中稳定级联粒子 Ξ^-，它的奇异数假设是 -2。对于生成 $\Xi^- + K^+ + K^+$的反应的测量结果与这一假设一致。

(3) K^+和 K^-在物质中的行为是非常不一样的：K^+散射不引起大的星裂，而 K^- 却引起大的星裂并常常变成一个 Λ^0或 $\Sigma^\pm$。在奇异数机制中，这显然是由于 K^+是 $S=1$ 家族中的最低激发，而 K^- 是易变的，因为在 $S=-1$ 的家族中，许多粒子(Σ^0, Λ^0)有低得多的激发。

(4) 在考司莫加速器(Cosmotron)的能量下，K^+/K^-的比值是很大的(>50)。这一结论，在奇异数机制下，基于下述事实已被预言：事实是，$S=-1$ 的 K^-一定与 $S=+1$ 的伴粒子一起产生，即伴粒子至少具有 K^+质量($=965m_e$)的激发，而 $S=+1$ 的 K^+是与 $S=-1$ 的伴粒子比如只有 $340m_e$ 激发的 Λ^0一起产生，所以大的 K^+/K^- 比是一个阈效应。

(5) 尚未发现奇异数选择定则的破坏。

由于这些有力的实验发现，奇异数守恒好像给出了关于奇异粒子相互作用的一个如此一致的图像，以致于它肯定是该学科中正确的部分。

实际上，盖尔曼—西岛机制找到了另外一组实验结果的支持。这组实验涉及了奇异粒子态的电荷简并度，及其对同位旋这一在核物理和 π 物理中熟知的概念的关系。

我们回忆一下 π 物理中，在电荷、同位旋第三分量 I_3 和核子数 N 之间的关系式

$$Q = I_3 + N/2$$

假定对奇异粒子，I 的守恒定律在强作用中仍然适用，只是这个关系式被破坏，则差额

$$(Q - I_3 - N/2)$$

对奇异粒子不等于零。然而，既然 Q、I_3 和 N 都是守恒量，那么这个差额一定仍然是在任何强作用中附加的一个守恒量。事实上，这正是盖尔曼—西岛机制的出发点，也就是说要问一问，定义为

$$S = 2(Q - I_3 - N/2)$$

的新量子数是否能稳定奇异粒子。

奇异数和同位旋之间的这个关系为我们提供了三种以上的能用实验直接检验的结果，它们不仅与 I_3 守恒有关而且都与总同位旋守恒有关：

(1) 规定了 S 值后，就立刻导出 I_3 的一个值，如果 I_3 不为零，这就意味着有质量大致相等的电荷不同的其他种粒子存在。例如，粒子 Σ^- 有 $S = -1$，$Q = -1$ 和 $N = 1$，所以 $I_3 = -1$。于是粒子 Σ^- 至少得有两个质量大致相等，I_3 分别等于 0、1 且电荷为 0 和 +1 的伴粒子。后者的确找到了，实验上称为 Σ^+。另一个 Σ^0 也许就要被找到。将这个关系式应用于 Λ^0 粒子，人们得到 $S = -1$的结果，这是与规定 Λ^0 的 $I = 0$ 一致。这一结果与实验图像上没有观测到 Λ^0 的带电粒子简并度相符合。当然有人也可能会问，在这种关系上，在同一多重态中的各种不同粒子在质量上是否不可能用几百 MeV 区分开。然而这种区分本身似乎表明，破坏 I 守恒的相互作用是很强的，使得 I 变得毫无意义。

(2) 轻的超核，如 ${}_{\Lambda}He^4$ 和 ${}_{\Lambda}H^4$，会形成同位旋多重态。达立兹(Dalitz)曾讨论过这种问题。有关多重态的实验证据可望会找到。

（3）两种不同反应率之间存在着某种关系，例如：

$$K^- + d \to \Sigma^- + p$$

$$K^- + d \to \Sigma^0 + n$$

其反应比可能是2:1。然而就我所知，这类反应的直接实验证据尚不存在。

在我总结关于奇异性机制的讨论之前，可做两点评论：

（1）在前面的讨论中，有一个潜在的假定，即同一多重态中的所有粒子都有相同的奇异量子数。没有这个假定是不合适的。但是重要的是应认识到这是我们全然没有弄懂的基本点之一。

（2）正如我们刚才所说，奇异量子数的起源是尚未理解的经验关系式(1)能否遭到破坏的问题。现在还存在着另外一个未理解的实验关系至今还没有发现被破坏，这个关系就是具有 $N=1$ 的一切粒子（即与核子一起守恒的粒子）都有半整数自旋，参与快速相互作用的带有 $N=0$ 的一切粒子（如介子）都有整数自旋。破坏这个法则会立即导致新型量子数产生。当新的令人费解的稳定性出现时，思考一下这个问题也许是有用处的。

我们也许可以说，现在关于奇异粒子的知识由收敛部分和发散部分组成。我刚才描述的收敛部分构成基本上完整的一章。毫无疑问，会有更多的知识充实它，但是直到这些知识获得全面的理解后，这一章的模式会极可能以现状保留下来。

还有许多论述机制的理论文章，其结论与盖尔曼—西岛机制没有本质的差异。这些文章的作者有M.戈德哈伯(Goldhaber)、萨彻斯(Sachs)、萨拉姆(Salam)和德斯培纳特(d' Espagnat)等人，我们没有时间对此作详细的论述。

2. 现在我们来看一看这个课题的发散部分。它包含有许多散开的头绪，需要把它们联系在一起。其中最突出的问题是 K

介子问题($K^+_{\pi2}$、$K^+_{\mu2}$、$K^+_{\pi3}$、$K^+_{\mu3}$和 K^+_{e3})。近两天来,我们听到的最多的一个谜是这些 K 介子有近乎一样的质量和相同的寿命。它们的寿命在静止和飞行两种情况下都测量过了。当然,如果它们都是同一粒子的不同衰变模式的话,这个谜就会烟消雾散(即使如此,人们仍须弄清楚这些衰变模式是怎样发生的)。可是问题却是,达立兹(Dalitz)给出的讨论强有力地指出 $K^+_{\pi3}(\equiv\tau^+)$和 $K^+_{\pi2}$ $(\equiv\theta^+)$可能不是同一种粒子。我希望今天上午我们能就此观点开展一些讨论。

如果 θ 和 τ 没有相同的自旋和宇称,人们就需要解释(a)为什么它们的质量彼此是这样的相近。(b)为什么测量的寿命彼此是这样的相近。

几个月前,李和奥里尔(Orear)猜测,寿命的相同性也许是由于二粒子间的遗传关系。例如衰变图也许是像图 1 这样的。

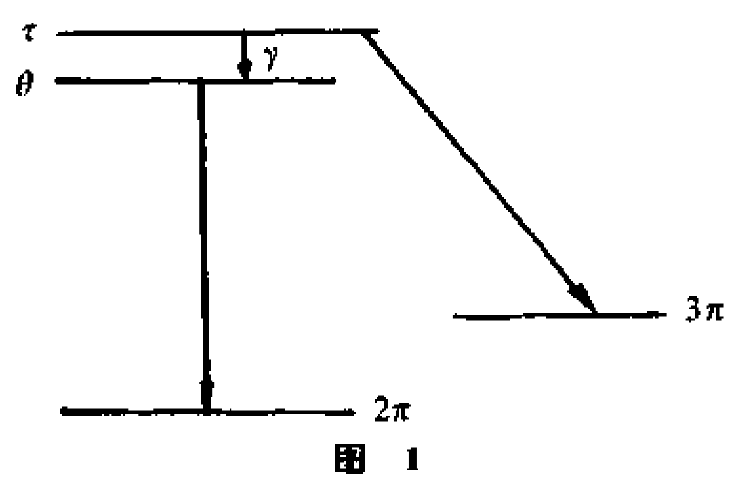


图 1

如果 θ 的实际寿命比 10^{-9} 秒短,而 τ 的寿命是测量到的 10^{-8}秒,那么如果 θ 是初始产生的,离源几米远处它们都会衰变完,从而人们就将观测到在放射性中熟知的单寿命现象。这一猜测迄今已有很多人进行了广泛的讨论。现在,实验的结论似乎是反对存在大于 100 万电子伏(MeV)的 γ 射线,如我们从埃尔瑞兹(Alrarez)那里听到的那样。在理论上,若 τ 和 θ 是 0^- 和 0^+ 粒

子，二者的质量差确实是在比如说是 100 万电子伏以内，那么电磁跃迁(双 γ 发射)将变得很慢，以致于这种解释会是站不住脚的。另一方面，如果它们是 0^-、2^+ 粒子，单个 γ 射线跃迁(磁四极)成为可能，于是质量差比如说是 100 万电子伏将是合理的。

最近温斯顿(Weinstein)做出了一个有关的推测：当质量差如果较小时，比如 $<10^{-5}$ 电子伏(eV)，这两个态通过物质时可能混合起来，于是测得的寿命变成一样了。为了说明这一点，让我们把自旋宇称规定为 2^- 和 2^+。那么两个态之间通常有一静电偶极强度。例如，它可由图 2 所示的这样一个过程产生，在量纲上，这样一个电偶极强度可望是 $\sim e\hbar/mc$。我们令 m 为 θ 的质量，在原

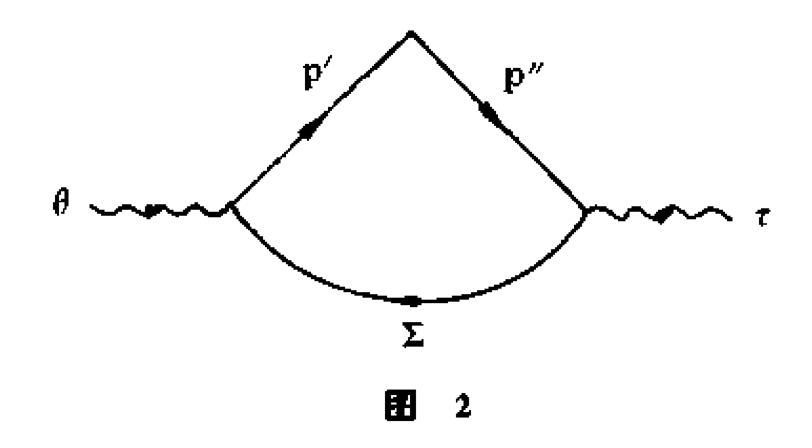


图　2

子电场中，这会引起一个能量劈裂 $\sim(e\hbar/mc)E\sim10^{-3}$ 电子伏。该量比质量差大，所以两个劈裂的态是 θ 和 τ 这两个态的完全混合。其相对相位随时间改变为 $(10^{-3}\text{eV})t/\hbar\sim t/10^{-12}$ 秒。若场是均匀的，则二粒子将在 10^{-12} 秒内完全混合起来。当 E 是一个矢量且是不均匀的场时，实际上问题是非常复杂的。如果一个混合的磁偶极矩是跃迁的起因，那么问题就会更复杂。这个问题应该更详细地考察。如欲采用温斯顿假定，处于静止和在飞行中测量寿命的两种不同的方法的问题也应该予以检验。

如果人们取两种最可能的规定，$(0^-,0^+)$ 和 $(0^-,2^+)$，而电场

和磁场的耦合是如此之弱，以致于在 10^{-8}秒内没有发生混合，则这种关于相等寿命的解释就行不通了。

关于 τ 和 θ 的质量简并度，假定二者是 0^- 和 0^+ 粒子，李和我讨论了下面的观点：如果简并不是偶然的，就可知所有奇异数为奇数的粒子必定处于相反宇称的两个态中。特别是，这里必定是两个 Λ^0态：有相反的相关宇称的 Λ_1^0 和 Λ_2^0，这样就使得

$$\pi^+ + n \longrightarrow \Lambda_1^0 + \theta^+$$

$$\text{和} \quad \pi^+ + n \longrightarrow \Lambda_2^0 + \tau^+$$

以相等振幅出现。事实上，对称性必须推广到一切快速相互作用中，以使人们能够把 θ 和 τ 的同时转换及 Λ_1^0 和 Λ_2^0 的同时转换等作为与哈密顿的强部分对易的一种运算。我们把这种运算称之为宇称共轭并记为 C_p。所有普通的粒子都是 $C_p = +1$ 的 C_p的本征态。具有奇数的奇异数的所有粒子都将作为宇称多重态存在，也就是说，具有相反宇称的两个粒子，它们在 C_p作用下，彼此相互转变。

下列几点评论成立：

(1) 若 θ 和 τ 有不同的自旋，则整个概念是不对的。

(2) $S=0$ 的粒子在 C_p作用下变成它自身。因此它们可有 $C_p = \pm 1$。这样一来，粒子具有 $S=0$, $C_p = -1$ 的可能性本身提供了一个稳定粒子的选择定则。

(3) 反应

$$\pi^+ + n \longrightarrow \Lambda_2^0 + \theta^+$$

$$\pi^+ + n \longrightarrow \Lambda_1^0 + \tau^+$$

有相等的振幅。它们可能与前面列出的两个反应一起出现。其相对比率不由不变性的要求所确定。然而 θ^+ 和 τ^+ 总以相等的丰度而产生却是事实。

(4) 对称元也许比单独一个C_p多得多。可是C_p表示具有相等质量的最小的对称性。

(5) 电磁相互作用在宇称共轭作用下，或许是，也或许不是守恒的。如果它是守恒的，那么破坏C_p守恒的唯一的相互作用将是弱作用。宇称多重态的二基元间的质量差将会是极小的（比如$<10^{-5}$电子伏）在此情况下，李—奥里尔（Lee-Orear）机制将会是站不住脚的。要说明电磁相互作用可能不保证C_p守恒，例如我们可以提一下，Λ_1^0 和 Λ_2^0 可能有不同的磁矩。

现在让我把上述情况总结起来，具体在下表中。

自旋和宇称		拟合达立兹曲线	质量简并度可能是由于	寿命全同性可能是由于	评论
τ	θ				
相同粒子		??			
0^-	0^+	容易	C_p守恒	?	
	奇			·	$\theta^+ \to \pi^+ + \pi^+$
0^-	2^+	容易	?	簇射($E_\gamma \sim$ Mev)	埃尔瑞兹说没有 $\gamma \sim 1$Mev
2^-	0^+	好	?	同样	〃
2^-	2^+	好	C_p守恒	簇射($E_\gamma \sim$ Kev) 温斯顿思想(?)	
其他					

3．我现在要提请大家对下面问题的注意：

(1) $\theta\bar{\theta}$问题。这个问题在盖尔曼和佩斯以及佩斯和彼斯奥尼（Piccioni）发表的论文中已经讨论过了。

(2) 测量奇异粒子自旋的可能方法。埃笛尔（Adair）、脱曼

(Treiman)和其他一些人已经讨论过这个问题。星期四我们听过了卡布拉斯(Karplus)和布维马克夫(Primakoff)在这方面的建议。

(3) 弱作用是什么?关于决定着奇异粒子衰变的那部分,很明显,为了使选择定则的讨论变得容易,最好把弱耦合常数分成许多可相加的部分。如果认为每一部分带着一个同位旋,则会保持弱作用不变。最简单的可能性是有唯一的一个这样的常数,其 $I=1/2$,从而 $\Delta I=\pm 1/2$, $\Delta I_3=\pm 1/2$,这个问题由盖尔曼在一些未发表的预印本中做了讨论,更近一些由文采尔(Wentzel)、盖脱(Catto)以及西岛等人也做过讨论。我相信文采尔教授晚些时候会讨论这个问题。

(4) 此外,还有熟知的包括 π-衰变、μ-衰变、β-衰变和 μ-核子相互作用的弱相互作用。值得注意的是奇异粒子衰变和这些相互作用都有可以比较的强度,即

强相互作用	强度 ~ 1
电磁相互作用	强度 $\sim 10^{-2}$
奇异粒子衰变	强度 $\sim 10^{-12}$—10^{-14}
π、μ、β 衰变	
μ-核子相互作用	

我们应该注意到靠近这些远远分离开的区域的一组相互作用的强度不能被解释为由于能进行的实验技术的时间标度所造成。

4. 我们将通过讨论纵观所有已知的守恒定律做为结论。我们先列出不是由时空不变性引起的那些守恒量:(这里不包括 C_p)

(1) 对所有相互作用:N、Q 和 b(电荷共轭)。

(2) 除弱作用之外的所有其他作用:N、Q、b 和 S。

(3) 仅对强作用：N、(Q)、b、S 和 $\vec{I}$。

我们把 Q 放在圆括号内是因为在情况(3)中 Q 守恒是由 I、N 和 S 守恒得出的。

可以直接写出这些守恒量两两之间的全部对易关系，此后就会发现，在情形(3)中使用由下式

$$G = be^{i\pi I_2}$$

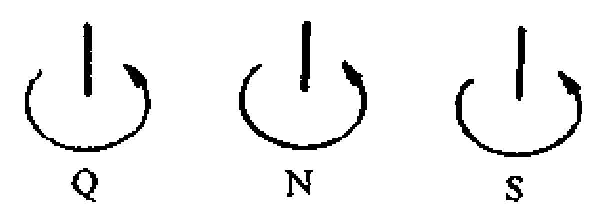
确定的 G 代替 b 更为方便。这是因为 G 和 I 对易面 b 与 I 不对易。对这些对易关系可作如下理解：

情形(1)：两个独立轴，绕轴的"角动量"是 Q 和 N：

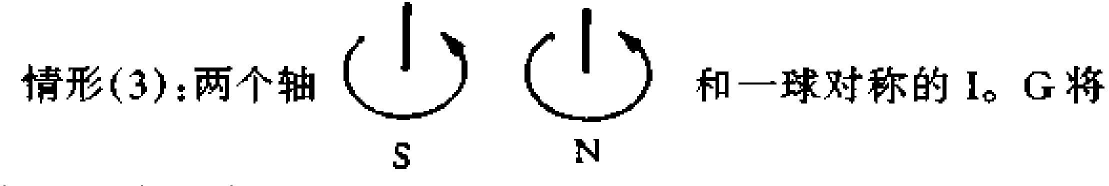


b 是将二轴同时转动 180°的一种运算。

情形(2)：三个轴：



b 同时转动所有这三个轴 180°。

情形(3)：两个轴 

和一球对称的 I。G 将 S 轴和 N 轴同时转动 180°。

用代数语言，质量简并与上面定义的对称群的不可约表示有关。附加的对称性如 C_p，会使不可约表示扩大，致使简并度增加。

把对称性如此形象化的目的是要看一看是否会出现一种普

遍的统一的图像。例如，有一种佩斯机制是在这样一种图像中，该图像相当于假定在情形(2)和(3)中，S 轴实际是由对称性构成的一个球的三个轴中的一个。这样一种机制的困难在于增加的对称性产生了比测量得到的要大的简并度(例如，这将意味着一个 Λ^{+} 的存在)。相反，在实验上，我们被颇为奇怪的简并度所包围，仿佛要求更多的对称性。很有趣的是，这些深一层的对称性似乎是与时空概念有牵连。让我们希望这种牵连会很快地导致目前无规律生长越来越多的量子数的状况得到解决。

附：1982 年为该文写的后记

50 年代中期，几个大回旋加速器、考司莫加速器(Cosmotron)和高能质子同步稳相加速器(bevatron)全部运转起来了，基本粒子的研究领域已成长为繁花盛开的园地。回首以往，这些年来人们的努力大都指向研究(3，3)共振(现在称为 Δ 粒子)及鉴别和分类新粒子的方向上。前者的研究导出了丘—络(Chew—Low)理论和色散关系，后者的探索又得到了佩斯(Pais)的协同产生、盖尔曼—西岛奇异性机制以及 θ-τ 之谜。色散关系和 θ-τ 之谜是 1956 年 4 月 3 日至 6 日召开的第六次罗彻斯特会议上讨论的理论焦点。

M. L. 戈德伯格(Goldberger)就色散关系做了引导报告，色散关系作为一个主要的进展正开始为人们所理解。过去多年来，它已变成了理论物理的重要课题①。

从 1953 年到 1955 年，随着对 $K_{\pi 2}$、$K_{\mu 2}$、$K_{\pi 3}$、$K_{\mu 3}$和 K_{e3}等许多粒子在实验上的研究，θ-τ 之谜逐渐清楚起来。R. 达立兹(Dalitz)研究了 $\tau(=K_{\pi 3})$的衰变产物并在达立兹图上绘制了它

的衰变组态，对明显地确定这个谜做出了贡献。在 1955 年 1 月 31 日至 2 月 2 日召开的第五次罗彻斯特会议上，他做出结论说："如果 τ 介子的自旋不到 5，那么它就不可能衰变成两个 π 介子"（第五次罗彻斯特会议文集）。这种研究导致了 $\theta(=K_{\pi 2})$和 τ 肯定是不同粒子的结论。由此结论引出这样的一个谜，这就是为什么 θ 和 τ 在测量的实验误差范围内有相同的质量和寿命。在 1956 年召开的第六次罗彻斯特会议的最后一天，在名为新粒子理论解释的分会上，我做了引导报告，总结了关于奇异粒子的各种各样的理论考虑，上文就是这次发言的内容，其中大部分内容讨论了 θ-τ 之谜。

有许多思想用于解释怎样不同的两种粒子才能展现出显然很相近的寿命和质量。其中包括李政道和 J. 奥里尔（Orear）的建议以及 R. 温斯顿（Weinstein）的建议，二者都已总结在上文中。除这些机制外，其他的思想均与对称性问题有关。李和我提出，以及盖尔曼亦提出的一个建议，包括了比通常想象要大的对称性，结果形成了"宇称对"（parity doublets）。回想起来，这一建议体现出了我们大家为了试图解释质量和寿命的简并度是怎样的孤注一掷啊。

我的报告中没有提及的是一些即兴讨论，当物理学家的注意力集中在某些奇异的困惑的现象上时，这种讨论总是丰富起来，许多这种讨论是与时间对称性，特别是与宇称守恒有关。[2]

为什么这样一些讨论没有深入下去？我认为，答案主要有以下三个方面：

首先，时空对称性定律在原子、分子和原子核物理中一直是极其有用的，正是由于这么有用，就产生了它们当然是不会遭到破坏的假定。

其次，从较为技术一点的角度说，讨论可能的宇称不守恒的

任何企图常常立刻被下列问题所阻挠：宇称选择定则在核物理中和 β 衰变中极好地适用，因此提出宇称不守恒又怎么能协调起来呢？（事实上，这正是1956年在西雅图理论物理国际会议上，在我的关于新粒子的报告后，听众所提出的那个问题。在报告中我提出了李和我在[56h]③中做出的关于宇称在弱作用中也可能是不守恒的建议，那次报告发表在[56d]③中。）

最后，有一个被忽视的思想，即人们应该把弱作用中的宇称守恒问题从强作用的宇称守恒中解脱出来。没有这种思想，关于宇称不守恒的一切讨论立即会陷入概念上和实验上的困难。

参考文献：

① 关于这一进展的简史，请参看 M. L. Goldberger, in *Subnuclear Phenomena*, ed. A. Zichichi(New York: Academic Press, 1970)Part B。

② 一个例子是 R.P 费曼(Feynman)和 M.布洛克(Block)在这次会议上所提的问题和我的回答。

in *High Energy Nuclear Physics* (New York: Wiley—Interscience, 1956) Section VIII, p.27:

费曼引述布洛克的一个问题：θ 和 τ 是没有确定宇称的同一种粒子的不同宇称状态，即宇称是不守恒的，这是可能的吗？这也就是说，自然界有某种方法唯一地确定左手性和右手性吗？杨回答说，他和李考察了这个问题，但没有得到任何肯定的结论，……也许人们可以说宇称守恒，或者说时间反演不变性，可能被破坏。也许各种弱作用可能都有同一起源，时空对称性的破坏。……

③ 参见本书附录四，“杨振宁科学论文英文目录(1944—1980)”。

和李政道合作

——《电荷共轭》(1956)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题《[56d]〈电荷共轭，一个新量子数G以及涉及核子—反核子系统的选择定则〉一文之后记》。本标题为编者所改。

1953年，李政道到了哥伦比亚大学。为了继续合作，我们订立了相互访问的制度。我每周抽一天时间去哥伦比亚，他则每周抽一天到普林斯顿或布鲁克海文来。这种例行互访保持了六年，而这段时间我们的兴趣有时在基本粒子理论方面，有时则在统计力学方面。这是一种非常富有成果的合作，比我同其他人的合作更深入广泛。这些年里，我们彼此相互了解得如此之深，以致看来甚至能知道对方在想些什么。但是，在气质、感受和趣味等诸方面，我们又很不相同，这些差异对我们的合作有所裨益。

1955年秋，我们的兴趣转到了电荷守恒上，因为在伯克利发现了反质子。这项研究的结果就是论文[56d]。做这项研究时最令我们激动的就是，我们理解到所有的 π 介子，不管它是带电的还是中性的，都是算符 G 对应于本征值 -1 的本征态。除了其

他一些结论之外，这个简单的命题还澄清了以前许多人所讨论过的一大堆选择定则。参见论文[56d]的脚注 3。

获诺贝尔奖的论文产生经过

——《宇称守恒问题》(1956)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[56h]〈弱相互作用中的宇称守恒问题〉一文之后记》。本标题为编者所加。

普林斯顿高等学术研究所的春季学期于4月初结束，我和家人于1956年4月17日到布鲁克海文去度暑假。李政道和我继续保持每周两次的互访。这段时间里，我们是在哥伦比亚和布鲁克海文见面。同过去一样，我们对各种问题都感兴趣，但当时我们最关注的自然是 $\theta—\tau$ 之谜。我们对下述反应链中的角分布尤其有兴趣：

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0 \qquad (1)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p \qquad (2)$$

R.P.Shutt(舒特)、斯坦伯格和 W.D.Walker(瓦尔克)等人研究过这些反应。他们曾在罗彻斯特会议上报告过研究的结果，会上对这三组物理学家所使用的“二面角”变量的准确范围有争议。

4月底或5月初的一天，我驱车前往哥伦比亚作每周例行的拜访。我把李政道从他的办公室接出来，上了车。我们很难找到

泊车的空位。后来，我把车泊在百老汇大街和125街的转角处。那是午饭时分，但附近的饭馆尚未开门营业。于是，我们就到左近的"白玫瑰"咖啡馆，在那里继续讨论。稍后，我们在"上海餐馆"(据我回忆，是这间餐馆，但李政道说他记得是"天津餐馆")吃午饭。我们的讨论集中在 θ—τ 之谜上面。在一个节骨眼上，我想到了，应该把产生过程的对称性同衰变过程分离开来。于是，如果人们假设宇称只在强作用中守恒，在弱作用中则不然，那么，θ 和 τ 是同一粒子且自旋、宇称为 0^-(这一点是由强作用推断出的)的结论就不会遇到困难。这种分离对反应链(1)、(2)有特别的意义。李政道先是反对这种观点。我力图说服他，因为这种想法可以通过(1)、(2)两个反应中可能存在的上—下不对称性而加以检验，它就更具有吸引力了。后来，他同意了我的意见。1962年4月，我们谈起这件事时，我记得上面那一幕发生在"上海餐馆"，而李政道则说是当天下午在他的办公室里。

这次讨论涉及到反应(1)和反应(2)的关联。在反应(1)中，产生的 Λ 应该在垂直于产生平面的方向上极化，就像质子散射中的极化问题那样。因为我和Snow(斯诺)、Sternheimer(斯顿海默)早些时候联合发表过论文[54a]，我熟悉这一点。而如果宇称不守恒，在反应(2)中，这种极化 Λ 的衰变能够产生一种上—下不对称性，这一点对我来说也是熟悉的，因为在自己的博士学位论文中，我已经确立了宇称守恒与一个角分布中不存在 $\cos\theta$ 的奇次项这两件事之间的关系。对衰变产物使用 s 波和 p 波叠加，便容易明确地验明宇称不守恒时的上—下不对称。我就是这样来说服李政道的。

那时，研究得最多的弱作用是 β 衰变。做过的 β 衰变实验有上千种。它们是否同宇称在强作用中守恒而在弱作用中不守恒这种假说相容？幸而，这个问题可以具体地加以讨论。通常的

β 衰变的相互作用被写成系数为 c 的五项之和。为了引进宇称不守恒，只要加上系数为 c' 的五项就行了。事实上，我和 J. Tiomno(蒂欧姆诺)早已在论文[50c]中明确地讨论过后面所加上去的那五项。c' 项和 c 项同时存在，即表明宇称不守恒。后来，就在那个星期里，我明白了问题的关键，便决定把所有的十项都包括到相互作用中去，重新考察当时已知的全部 β 衰变实验(原先只用五个系数为 c 的项来分析)，检查看看实验数据是否同相互作用中同时存在五个系数为 c 的项及五个系数为 c' 的项这一点相容。此时闯入脑际的第一个问题是，大量的 β 衰变选择定则(这些定则很管用)是否意味着 β 衰变中宇称必须守恒？考虑这个问题时我明白了，由于选择定则只涉及核的矩阵元，把 c' 项包括在内决不会改变这些选择定则的。但电子谱则如何？这里又用得着论文[50c]，因为我同 Tiomno 已经研究过这个问题，并且证明了，对于中微子质量为零的情况，就不能由电子谱去区分 c 项和 c' 项。如果两种类型的项都存在，则这个问题要重新研究。简单的计算证明了，由电子谱不能断定互作用中究竟只存在一种类型的项呢，抑或两种类型的项并存。对实验上研究过的所有 β 衰变现象，诸如许可谱，特定禁戒谱，具有容许形状的禁戒谱，$\beta—\upsilon$ 关联，以及 $\beta—\gamma$ 关联，等等，都要重新研究。

第二个星期再到哥伦比亚访问，我们一起沿大学附近的 Claremont 街信步漫游时，我向李政道提出了需要重新考查的所有现象的清单。

随后的几个星期，我都花在对这些过程的计算上。那时，李政道还不大熟悉 β 衰变现象。他有点按捺不住了，主张把关于反应(1)、(2)的研究写成短文，先行发表。我不同意这样做，因为我要把 β 衰变的计算做完。我的计算只用了一两个星期。结果表明，在所有这些过程中，原先的实验并不能决定相互作用中到

底是只有 c 型的项呢，抑或 c、c' 型的项同时并存。换句话说，原先所有的 β 衰变实验同 β 衰变中宇称是否守恒的问题毫无关系。随后，李政道也做了同样的计算并同意我的结论。

一年半后，在诺贝尔演说[57s]中，我这样来描述我们当时对这个结果的心理反应：

> 长久以来，在毫无实验证据的情况下，人们都相信，弱作用中宇称守恒，这是令人十分惊愕的。但更令人吃惊的是，物理学家如此熟知的一条时—空对称定律面临破产。我们并不喜欢这种前景，只是由于试图理解 $\theta—\tau$ 之谜的各种其他努力都归于失败，我们才不得不去考虑这样一种情景。

5 月份的某一天，我在布鲁克海文的 Cosmotron 加速器部介绍了我们的工作。报告快结束时，Walter Selove（塞洛夫）问我，原先的实验与 β 衰变中的宇称守恒问题无关，个中究竟有什么更深一层的原因？我答曰不知道。一两天后，李政道到布鲁克海文来看我，我们一起思考了这个问题。我们不想通过计算，而要从数学上证明，原先的实验并未测量到任何与 cc' 成正比的量。为了这个证明我们花了很大的气力，因为考虑了粒子的自旋、相位及正、负号之后，问题便含混不清了。此外，像在所有关于对称性的论证那样，直觉和逻辑往往掺杂在一起。最后快到那天晚上，我明白了，如果引进下述形式上的变换，论证就变得简单，同时可以推断，计算中正比于 cc' 的项必须是"赝标量"：

$$C \to C \qquad C' \to -C'。$$

因为原先的实验中没有测量赝标量，因此它们与 β 衰变中的宇称守恒问题没有关系。我因弄清楚这一点而十分高兴，并在驱车回住所吃饭的当儿，向李政道解释了这一切。

作为一种推论，我们也搞清了，能够检验弱作用中宇称是否

守恒的实验，必须包含测量含有"赝标量"的项。

一种可能的做法是测量极化核 β 衰变的方向分布，但困难在于如何使核极化，而我和李政道都不知道当时已能通过低温技术使核极化。后来，与 M. Goldhaber（戈德哈伯）、吴健雄等人谈及这个问题，我们才知道有这种技术，于是便提议：用 Co^{60} 核来做研究，可能是很合适的。

5 月底，我有生以来第一次得了严重的腰痛病（几年以后，诊断为椎间盘脱出症）。我不得不卧床数天。在病榻上，我口授，由妻子致礼写成了一篇论文。因为她未受过文秘方面的训练，所以只好一字一句地照记下来。论文的题目是：《在弱作用中，宇称是否守恒?》我把稿子拿给李政道看，他作了几处小改。于是，我按字母顺序写上了我们的名字。简单地说，我曾想过要把我的名字排在前面，但后来决定不这样做。这是出于两方面的考虑：一则我不喜欢在排名先后上计较，二则我要在事业上扶持李政道。于是，就把稿子交给布鲁克海文 Cosmotron 加速器部的 Barbara Keck，请她打字。

我们的预印本出了几个错误。在校阅清样时，改正了其中一些错处（参见致 Reinhard Oehme（欧米）的信，在论文[57e]的后记中曾摘引）。1957 年，R. C. Curtis 和 M. Morita 分别向我们指出其中另一个错误，那就是，我们文中所提的那件事与宇称不守恒无关（参见[57l]）。

6 月 5 日，我带着致礼和我们的长子弗兰克林（光诺）驱车到麻省的剑桥。在那里，我给施温格（J. Schwinger）打过电话，询问他关于传闻的他对 $\theta—\tau$ 之谜有些看法这件事。因为他当时正忙着准备去度暑假，所以得不到要领。

在剑桥期间，我在麻省理工学院（MIT）作过一次报告。这个报告本应在 5 月底做，因为我腰痛，所以延后了。Ed Purcell 和

Norman Ramsey 说，也许他们能够在橡树岭国家实验室（Oak Ridge National Laboratory）做这个实验。显然，他们未能说服橡树岭实验室当局支持他们的计划。

我们的稿子讨论了 β 衰变的不对称性及 Λ^0 衰变的上—下不对称性作为弱作用中宇称守恒的可行检验手段这件事。在 Shirley 和 Al Wattenberg 为我们举行的聚会上，同 Al 简单地交换意见以后，我明白了，π-μ-e 衰变序列也可以作为一种检验手段。回到布鲁克海文，我把这一点写进了尚在打字的稿子中去。在校对清样时，我们又加上了 Ξ—Λ—p 衰变序列。

6 月 22 日，稿子打了出来，并给它标上了布鲁克海文国家实验室的编号：BNL－2819①。

我们把它投稿给《物理评论》（*The Physical Review*）杂志，同时散发了一些预印本。发表时，标题被改为《弱相互作用中的宇称守恒问题》，因为杂志的编者规定，文章的标题不应该有问号。而我认为，原来的标题要有意义得多。

我们对稿子非常满意，感到完成了一件分析宇称守恒物理的好工作，还讨论了当时我们所知道的一切可能的实验检验方案。我们觉得，这件工作的风格是符合好的物理学传统的：与原来确信的相反，对弱作用来说，宇称守恒从未被检验过。用实验来加以检验是至关重要的。

宇称守恒文章投稿 2 周后，我们提出了一份表格，列出了宇称二重态与宇称不守恒的区别。这就是论文[56i]。在两种可能性当中，我们并不偏向哪一种。稍后，在 9 月份的西雅图国际理论物理会议上，我再次指出了两种可能性（参见[57d]）。

和其他许多人一样，我们也不急于断言弱作用中宇称不守恒（即左—右不对称）确系 θ-τ 之谜的谜底。一位著名的苏联物理学家告诉我，1956 年 10 月在苏联召开的一次会议上，朗道（L.

Landau，1962 年诺贝尔物理学奖的唯一得主，译注）强烈反对我们预印本中的观点，但后来却改变了态度。泡利在 1957 年 1 月 17 日致 V. Weisskopf（韦斯可夫）的那封著名的信中说：

> 我不相信上帝竟然是一个无能的左撇子。我敢出大钱打赌，实验将会给出对称的电子角分布。我看不出相互作用的强度与它的镜像不变性有任何逻辑上的联系。

实验物理学家比理论物理学家更关注这个问题：究竟值不值得做一个实验去检验弱作用中的左—右不对称性？因为所提出的实验没有一个不是极端困难的，因此，只有少数几组物理学家接受了这项挑战，这个事实并不奇怪。我清楚地记得在布鲁克海文吃午饭时同一位实验物理学家的谈话。我怂恿他做 π-μ-e 实验。他开玩笑说，一旦能找到一位绝顶聪明的研究生供他当奴隶役用，他会去做的。

李政道已经同他在哥伦比亚的同事吴健雄联系。吴在实验上对 β 衰变物理的贡献有口皆碑。她决定同美国国家标准局的四位物理学家 E. Ambler（安布勒）、R. W. Hayward（海沃德）、D. D. Hoppes（霍普斯）和 R. P. Hudson（赫德逊）一起合作，进行 Co^{60} 衰变中宇称是否守恒的检验。他们的实验遇到了把 β 衰变的装置同低温物理相结合这种技术上的困难。由于他们的勇气和洞察力，物理学家们得以感受到了近年来在我们这个领域中最伟大的一次激动人心的事件。决定做检验宇称是否守恒实验的另一个小组由 Val Telegdi（泰勒格第）及 J. Friedman（费雷德曼）组成。他们的实验也是困难的。他们的同事们对它不太感兴趣。直到 1956 年 11 月的一天，Reinhard Oehme（欧米，当时他正在普林斯顿高等学术研究所作为期一年的学术访问）告诉我，Telegdi 小组用照相乳胶作为探测器一直在做 π-μ-e 不对称性的实验研究，李

政道和我才得以知道这个小组的活动。Reinhard Oehme 要我对除李政道以外的其他人保守秘密。

注:

① 到目前为止,我对与李政道合作的经过在公开场合一直严格地保持缄默。例如,除了直系亲属和两个最亲密的朋友之外,我从未同其他人谈过上述关于论文[56h]的事。以上事情的经过是根据我 1956 年及 1962 年 4 月 18 日的日记写成的。要不是在 1979 年的某一天,我偶然看到 Zichichi 编辑的一本名为 *Elementary Processes at High Energy, Proceedings of the* 1970 *Majorana School* (Academic Press, 1971)的书,我还不会说出这些事呢。书中有李政道的一篇题为《弱相互作用史》的文章,该文谈了他自己关于论文[49a]及[56h]的故事。这篇文章含蓄地暗示了许多事情,诸如我们两人之间关系的性质、宇称不守恒、β 衰变如何与 $\theta—\tau$ 之谜搭上,等等。关键的想法及解决问题的策略是如何产生及发展起来的? [56h]这篇论文是怎样写成的? 李政道对此一概回避,顾左右而言他。我知道,有朝一日我必须把真相公诸于世。最近(1982 年 8 月),我又偶然在《科学哲学史研究》杂志[*Studies in History and Philosophy of Science*, 10(3)(1979), 201]上看到 A. Franklin 一篇题为《宇称守恒的发现与未发现》的文章。我记不起是否认识这位 Franklin, 不过肯定事先不知道有这样一篇文章。Franklin 对他与李政道的几次有价值的谈话感谢不迭。他的文章几处引用了李政道《弱相互作用史》这份手稿中的段落,手稿记有"1971 年 3 月 26 日在哥伦比亚大学所作的报告,未发表"字样。这份手稿与上面所引的 *Proceedings of the Majorana School* 中的文章显然大致相同。

我们和 Oehme(欧米)没能预见 CP 不守恒

——《关于时间反演》(1957)一文的后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年 9 月。译者甘幼玶。原标题为《[57e]〈关于时间反演和电荷共轭下可能的非不变性的注记〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1956 年 8 月，我收到芝加哥大学 Reinhard Oehme(欧米)的一封信，内中提出了宇称守恒的破坏与弱作用中电荷共轭不变性及时间反演不变性之间有什么关系这样的问题。这是李政道和我在我们的预印本中没有考虑过的，因此，Oehme 的问题极为重要。月尾，我们给他复了信(这两封信全文刊在本后记之末)。Oehme 在 1956 年秋到普林斯顿访问，同我一起做研究。将近年底时，李政道、Oehme 和我写成了论文[57e]，详细探讨了上面提到的那两封信中的问题。作为一个例子，该文用一节的篇幅讨论了 K^0-$\overline{K}_0$ 衰变的模式；使用的是 Weisskopf(韦斯可夫)—维格纳那套办法。我们当时并没有指望那个例子过了几年(在发现 CP 破坏之后)会变成很重要(参见论文[64f]的后记)。

为什么我们不能预见 CP 破坏呢？这又是同一个原因使然：人人都自然而然地希望有更多的对称性，而不是反过来。对这个问题来说，还有一个原因，那就是当时并不存在一个什么“谜”去迫使我们提出 CP 破坏的设想。事实倒是，1964 年之前，大家都在努力，想通过把电荷共轭包括进来而重新给反射操作下定义的办法来挽救左一右对称性这座业已倾圮的大厦。

附件 1：1956 年 8 月 7 日 R. Oehme 的来信

尊敬的杨教授：

惠赐关于弱作用中宇称不守恒的大作收到了，非常感谢。关于检测 β 衰变，π—μ 衰变等等事件中宇称可能受到破坏一事，我有几个问题求教于您。如蒙指点迷津，则不胜感荷！

在尊稿的附录中，如果假定时间反演不变的话，您所写出的 β 衰变哈密顿量的常数 C_α 及 C_α' 就变成实数。我发现，电荷共轭下的不变性要求所有 C_α 及 $C\bar{\alpha}$，还有 C_α' 及 $C\bar{\alpha}'$ 的相对位相必须为实值，但比值 $C_\alpha/C\bar{\alpha}'$ 必须是虚数。这看来同时间反演所推出的要求直接相悖，而且，倘若把两个不变原理用在一起，就会得出结论，两组数（即 C_α 和 C_α'）的混合是禁戒的。我知道，您并未加上时间反演不变性。如果仅仅要求电荷共轭下的不变性，上面所提到的位相关系就导致 $C'C^* + C'^*C = 0$。看来这一切表明，终态的密度矩阵中，似乎宇称相反的各部分之间并没有相干项存在。即使初始核是极化的，情况也不例外（一阶微扰论）。

乍一看来，令人有点迷惑不解的是，在 β 衰变这类问题中，何以电荷共轭和时间反演会导致不同的限制？当然，我知道在证明两种不变性质等价时已经明确假定宇称是一个好的量子数，并且人们也用到了哈密顿的厄米性以及其他性质。

对 π-μ 衰变来说，在某一方面情况类似。如果人们使用直接耦合，同时加上电荷共轭和时间反演不变性，则没有宇称守恒的混合，并且，宇称破坏型的耦合似乎可以存在。但是，如果只包含电荷共轭不变性，在 π 介子的其余系统中，我求得的密度矩阵 ρ_f 如下：

$$\rho_f = |T_0|^2 \left\{ g_s^2 + g_{ps}^2 + \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2}(f_v^2 + f_{pv}^2) + 2\frac{m_\mu}{m_\pi}(g_s f_{pv} + g_{ps} f_v)\bar{\sigma}\cdot\hat{p} \right\},$$

式中，g、f 为实的耦合常数，而 $\hat{p}$ 是在 μ 介子动量方向上的一个单位矢量。在这种情况下，只有当微商型及非微商型耦合同时存在时，μ 介子才可能是极化的。我想提一提，Telegdi(泰勒格第)博士和 Wright(莱特)博士已经注意到，具有实常数的 $ps+s$ 耦合不会产生极化。

由以上所述的例子可以看出，似乎在某种限制之下，电荷共轭不变性及时间反演不变性同时成立的话，就意味着宇称必须守恒。当然，我们不知道对轻子的相互作用来说，加上时间反演不变性是否合理。

您诚挚的

Reinhard Oehme

附件 2：1956 年 8 月 28 日给 R. Oehme 的复信

尊敬的 Oehme 博士：

8 月 7 日的华翰收悉，谢谢。您的大函促使我们深入研究了弱作用中的电荷共轭不变性和时间反演不变性问题。对您所注意到的问题及普遍的情况来说，兹评述如下：

(1) 在电荷共轭守恒的条件下，你断定比值 C'/C＝纯虚数，这无疑是对的。

(2) 预印本中，(A·6)、(A·7)两个公式是错的。(A·6)应为

$$a = Re\left[C_T C_T'^* - C_A C_A'^* + i\frac{e^2 Z}{\hbar c p}(C_A C_T'^* + C_A' C_T^*)\right]$$
$$\times |M_{G\cdot T\cdot}|^2 \frac{V_e}{c}\frac{2}{\zeta + (\zeta b/W)}\frac{\langle J_Z\rangle}{J}。$$

(A·7)亦应作类似的改变。在校阅清样时，已作了改正。改正后，相干项便成为可能，即使电荷共轭守恒也罢。但是，只有在下面两个条件下，情况才会如此，即，(a)轴矢和张量型互作用同时存在(如果承认宇称有可能不守恒，则存在轴矢型互作用的通常那种论证就要重新考虑)；(b)电子的波函数应该有一种库仑扭曲。下面，在第(4)点再回到这个问题上来。

(3) 预印本对弱作用中电荷共轭下不变性的实验证据是否存在，论述得不正确。校阅清样时，预印本第 14 页 7—9 行的"So is the ……and of $K^{\pm}$"已改为：

乍一看来，好像 $\pi^{\pm}$ 和 $\mu^{\pm}$ 的寿命相等这一点，证明了弱作用中电荷共轭下的不变性。然而，更深入的研究表明，事情并非如此。事实上，一个粒子与其电荷共轭粒子在通过弱作用（一直到弱作用最低量级的强度）而衰变方面寿命相等这件事，可以由适当的洛伦兹(Lorentz)变换而证明（即既没有空间反演，也没有时间反演的洛伦兹变换）。因此，目前尚没有弱作用在电荷共轭下不变性的实验证据。

上面涉及的粒子及其电荷共轭粒子寿命相等的论述，可以用 Lüders（吕德斯）的一个定理来证明，正如泡利曾讨论过的那样（见《*Niels Bohr and the Development of Physics*》，Pergamon Press, London, 1955）。

(4) 用同一个定理，人们也可以证明，如果电荷共轭不变性成立，就不可能有宇称守恒及宇称不守恒弱衰变之间的相干性（一直到弱作用最低量级的强度），除非衰变产物之间有强作用存在，以便产生相移。宇称不同，所产生的相移也不同[(2)中所提到的库仑扭曲效应就是相移影响的一个例子]。您对 π-μ 衰变密度矩阵的计算，给出了即使 C 守恒时也极化的结论，我们认为是错误的。

(5) 如果时间反演不变性成立，Lüders 定理便给出一个非常有趣的结果，即反物质构成的世界（反世界）与我们通常世界的螺旋总是相反。如果有任何螺旋存在（即，如果宇称不守恒）的话，这一点看来是极端重要的。

(6) 如果电荷共轭不变性不成立，人们可能会问，θ_1^0，θ_2^0 的状况如何。人们知道，长寿命成份一般说来将不是 θ^0 及 $\overline{\theta}^0$ 的 1:1 混合，而这一点是可以用实验加以检验的。但是，如果时间反演不变性成立，并且，如果 2π 衰变模式是快速得多的一种模式的话，这个比仍将是 1:1，即使电荷共轭不变性可能遭到破坏，情况也如此。

您来普林斯顿时，我们将会很高兴地同您讨论这一切。

诚挚的　　　　　　　　　　　　李政道

杨振宁

吴健雄证实了宇称不守恒

——《两分量理论》(1957)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[57f]〈宇称不守恒及中微子的两分量理论〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1956年秋，吴健雄领导的哥伦比亚—国家标准局小组的实验进行得很顺利。吴健雄往返穿梭于纽约市和华盛顿之间，并把实验进展的情况随时通知我们。圣诞节前后，她终于说，他们正在得到一种不对称性，表明在弱作用中宇称不守恒。不过她说这只是很初步的结果，告诫我们不要声张出去。我们并没有声张，但流言毕竟传开了，我们接到数目多得惊人的电话，有的是探听消息，有的则说可以提供消息。

对这一结果做进一步检验，证实一切无误之后，吴健雄及她的小组宣布了实验结果，物理学界掀起了一阵轩然大波。那是1957年元旦前后的事。1月15日，我给奥本海默发了一封电报，他当时正在维尔京群岛度假。电文说："吴健雄的实验产生大的不对称，显示 G 等于 G'。因此，中微子是一种二分量波函数。"他的回电只有四个字："走出门了。"这是接过我1956年所作报告

的话头来说的。当时我把高能物理学家在 1956 年的状况比喻为处在黑屋子里的一个人,他知道屋子一定会有一扇可以让他脱离困境的门,但门在何方呢?

元月中旬,吴健雄、E. Ambler、R. W. Hayward、D. D. Hoppes 和 R. P. Hudson 把他们那篇划时代的论文投稿给学术杂志。很快,R. Garwin(戈文)、莱德曼(L. M. Lederman, 1988 年诺贝尔物理学奖得主,译注)及 M. Weinrich(韦恩瑞其)小组和 V. L. Telegdi(泰勒格第)、J. I. Friedman(费雷德曼)小组也投了稿,两个小组都证实 π-μ-e 衰变中宇称不守恒,参见《*Adventures in Experimental Physics*》一书的 Gamma 卷,B. Maglich 编辑,普林斯顿的 World Science Education 出版社,1973 年版。

哥伦比亚—国家标准局小组观测到的大的不对称性意味着,在 β 衰变中,电荷共轭下的不变性也被破坏。参见前面 R. Oehme 的信和论文[57e],以及[57s]所列参考文献中,Ioffe, Okun 和 Rudik 的论文。

由于宇称不守恒现象的发现,李政道和我写出了论文[57f],论述二分量中微子理论。这种理论最初由 H. Weyl(韦耳)提出,泡利在《*Handbuch der Physik*》这本书的一篇文章中曾给予介绍。1956 年 11 月,萨拉姆(A. Salam, 1979 年诺贝尔物理学奖得主,译注)曾散发了一篇讨论二分量中微子理论的预印本。他的论文是在获得任何有关宇称不守恒实验证据之前写成的。1957 年 1 月,朗道也散发过一篇论述二分量中微子理论的文稿。

论文[57f]第 4 节得出了一个饶有兴味的结论,那就是,在二分量理论中,探测中微子实验所得到的截面,应为四分量理论所预言的两倍。在写这篇论文时,我们是在深夜发现这一点的。该文还论述了以前未讨论过的一些宇称不守恒所引起的效应。

元月初,李政道和我写过另一篇论文,即[57g]。事情是这样

的：有一段时间，戈文—莱德曼—韦恩瑞其小组所得到的实验数据与简单的二分量中微子理论不符。李政道和我急忙做了一番计算，把 Konopinski—Uhlenbeck 的微商耦合也包括进来。我们把结果写成论文，对实验数据进行解释。后来，收集到新的实验数据，原来那种与理论不一致的情况消失了，我们便收回了该文。

元月中旬的一天早晨，我悟出了一个道理：在磁场中运动的 μ 介子是精确测量其额外磁矩的最好手段。我为此激动不已，便赶忙给布鲁克海文的斯坦伯格打电话。但是，俘获 μ 介子很困难，这是一大障碍，后来，我们就不再继续讨论这个问题了。其他物理学家也曾独立地有过同样的想法，后来终于做成了一个十分精确而漂亮的实验，现在一般把它叫做$(g-2)$实验。

1月15日，哥伦比亚大学召开了一个记者招待会，事后，J. Bernstein 把它形容为“史无前例的”。我不知道这样说是否准确，但我的确认为，用记者招待会的方式来宣布一项科学研究的成果是令人生厌的。虽然他们一再敦促，我却没有出席。翌日，《纽约时报》用第一版整版刊登了有关宇称不守恒的文章。

消息很快便传到欧洲。1957年1月27日，在写给 V. F. Weisskopf(韦斯可夫)的信中，泡利这样来描述他对此的反应：

> 现在，第一阵冲击过去了，我开始恢复常态(在慕尼黑，人们如是说)。
>
> 是啊，那是非常戏剧性的。1月21日，星期一，晚上8点15分我预定要作一个题为《中微子过去和现在的历史》的报告。下午5点钟，我收到的邮件是三篇实验论文，分别是吴健雄、莱德曼和 Telegdi(泰勒格第)的。Telegdi 好意地把它们寄来给我。那天早上，我收到两篇理论方面的论文，一篇是杨振宁、李政道和 Oehme(欧米)的，另一篇是杨振宁和李政道论述二分量理论的。后一篇与我在六至八星期前收到的萨拉姆论文预印本基本

相同。关于萨的论文，我前一封短信已经提到过(不知在美国是否能见到该文?)。(同时收到了 Villars 从日内瓦寄来的一封信，其中附有《纽约时报》的文章。)

我不知道该从哪说起才好。真是幸运，我没有同人打赌，否则我就要输大钱了(我可付不起哟);我闹了一个大笑话(我想，这个我还付得起),——顺便提一提，我只同人在信中或口头上说说而已，要是闹到白纸黑字印出来的文章里，可就下不了台啦。不过，别人还是有权嘲笑我。

最使我震惊的并不是"上帝是个左撇子"这个事实，而是他强烈地表现自己时，显示出是左右对称的。

李政道和我接到布鲁克海文国家实验室及哈佛大学的讲学邀请。我决定，由李政道去讲学，而我则到纽约去，在美国物理学会年会上报告宇称不守恒。年会在"纽约佬"旅馆举行，关于宇称的那次专题会议定于 1957 年 2 月 2 日，星期六下午召开。由于决定得太迟，所以它不能作为正常议程，而只能作为"报名截止后加进来的"专题讨论会。

关于这个讨论会的消息传得很快，以致会场爆满。后来，K.K.Darrow 用下面这段话来描述当时的情景："我们通常不使用的那个最大的会议厅挤满了人，致使有人不得不爬上吊灯。"会上发言的有吴健雄、莱德曼、泰勒格第和我四个人。按原订的时间表，先在这个大厅里进行天体物理的专题会议。其中一个发言者 Leona Marshall 后来抱怨道，听众只对宇称问题有兴趣，没有人听她发言。

Λ^0 的产生和衰变中的上—下不对称性(它引发了检验宇称是否守恒的想法)是较为难做的一个实验，因为 Λ 的产生率很低。论文[57j]强调，寻找这种不对称性很有用。已经有几个小

组在做这个实验，但是，直到 1957 年秋，确切肯定它存在(这就意味着在奇异子衰变现象中宇称也不守恒)的报告才发表出来。

《量子力学中的多体问题》(1957)一文之后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年 9 月。译者甘幼玶。原标题为《[57h]〈量子力学中的多体问题及量子统计力学〉一文之后记》。本标题为编者所改。

从 1956 年 6 月到当年 12 月，李政道和我把注意力转移到多体问题上。虽然，部分原因是我们实际上并不真正地相信吴健雄的实验会得到戏剧性的结果，但主要原因却是这段时间我们刚好在多体问题上取得很有意义的进展。

1955 年秋，黄克孙(广西宁明人，壮族，美籍著名理论物理学家，麻省理工学院教授，译注)加入了高等学术研究所。他向我介绍了费米和 G. Breit(勃来特)以及 J. Blatt 和 V. Weisskopf 发明的赝势法(这种方法适用于研究两个短程相互作用粒子之间在长波长范围内的互作用)，其时，黄克孙、Luttinger(路丁格)和我对超流氦的性质感兴趣，便把赝势法应用到有相互作用的多体系统上去。对一个由稀薄硬球组成的玻色系统，我们用这个办法通过微扰计算求得了玻色气体逸度级数按(a/λ)的幂进行级数展开的

前几项，其中 λ 是热波长，

$$\lambda = \sqrt{2\pi\hbar^2/mkT},$$

a 是硬球的直径。我们还对稀薄硬球费米系统求得了其基态能量用 aP_F进行级数展开的前几项，其中 P_F是系统的费米动量。

虽然这些结果令人满意，但是，用同样的办法，对稀薄硬球玻色系统的基态能量，我们却求得了下述表达式：

$$E_0 = N\frac{4\pi a(N-1)}{L^3}\left\{1 + 2.37\frac{a}{L} + \frac{a^2}{L^2}\left[(2.37)^2 + \frac{\xi}{\pi^2}(2N-5)\right]\right\} + \cdots \qquad (1)$$

式中 N 是硬球的数目，$L \times L \times L$ 是装载这个系统的周期性盒子的体积，并且

$$\xi = \sum_{l,m,n=-\infty}^{\infty}(l^2+m^2+n^2)^{-2}, \qquad (l,m,n)\neq(0,0,0),$$

我们已经选择了 $\hbar = 1, 2m = 1$ 这样的单位制。对于固定的密度 $\rho = NL^{-3}$，当 $L\to\infty$时，(1)式无意义，因为

$$\frac{a^2\xi}{L^2\pi^2}(2N-5)\to\infty。$$

在这一点上，我们被困扰了几个月，直到 1956 年 10 月，介绍我们这一研究成果的稿子才送去发表，它们就是论文[57a]及[57b]。

1956 年 3、4 月，我开始发展一种不同的方法来计算稀薄硬球系统的逸度展开及系统的基态能量。但是，这方面的研究做得不多，那是因为去参加罗彻斯特会议及 4 至 6 月关于 θ-τ 之谜的

紧张工作。7 月份，写完[56h]、[56i]的稿子后，我回过头来研究多体问题，并使李政道也对之发生了兴趣。我们的合作研究取得了进展，发展了一种我们称之为“二元碰撞展开”的办法。用这种方法，我们求得了硬球玻色系统逸度级数按(a/λ)的幂进行级数展开的第一项及硬球费米系统的基态能量。这些都是黄克孙、Luttinger 和我已经用赝势法求得的。

随后，李政道和我转而用二元碰撞展开法研究玻尔兹曼系统或玻色系统的基态能量。我发现了一种应用最发散项求和的技巧。应用这种技巧，我们发现，上述(1)式中引起麻烦的那一项经求和后便消失了。于是得到

$$\frac{E_0}{N} \simeq 4\pi a\rho\left[1+\frac{128}{15\sqrt{\pi}}\sqrt{\rho a^3}+\cdots\right] \tag{2}$$

这一结果使我们大为高兴，尤其是因为 $\sqrt{\rho a^3}$ 这一项的形状是在没有做任何详细计算的情况下，通过最发散项求和技巧首先获得的(参见[57q])。

(2) 式的第一项，即 $4\pi a\rho$，P. Price 在 1951 年已经求得。我们在 1953 年也求得了它。对一个粒子通过一堆固定不动的粒子而运动的情形，W. Lenz 在 1929 年曾经给出了一个求基态能量的公式，它与这一项基本相同(参见[57a]的脚注 6、7)。(2)式的第二项是一个新结果。

从数学的观点看来，最发散项求和技术是很不可靠的。但是，从那以后，它却一直被人们在统计力学和场论中广泛地沿用。但是，在有些情况下，它行不通。

得到(2)式后不久，黄克孙、李政道和我发现，用赝势法也能求得这一项(参见论文[57i]的后记)。由于这一切，也因为要同 Oehme(欧米)合作写一篇论文，李政道和我便没有时间把二元碰

撞展开法及(2)式的推导过程详细地写出来，于是，我们在1956年12月10日写成一篇简短总结性文章投了稿，这就是[57h]。此后不久，我们的注意力又集中在宇称不守恒上。不过，我们还是挤出时间写下(2)式的赝势法证明，那就是论文[57i]。叙述二元碰撞法的文章一直推迟到1958—1959年才投稿。

论文[57h]的(5)式有错(参见[58d]的脚注8)。

展开式(2)的下一项分别由吴大峻、N. Hugenholtz和D. Pines、K. Sawada等人求得。参见论文[60g]的参考文献(1)。

在颁发诺贝尔奖贺宴上的讲话(1957)

本文是作者于1957年12月10日在颁发诺贝尔奖贺宴上的讲话。原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文刊于《杨振宁谈科学发展》,张美曼编,八方文化企业公司,1992年。译者张美曼。

首先,请允许我感谢诺贝尔基金会和瑞典科学院,由于他们的亲切款待,杨夫人和我过得极其愉快。我还特别要感谢卡琼(Karlgren)教授,听了他用中文说的引述和一段话,我感到心中格外温暖。

颁发诺贝尔奖金的制度开始于1901年,在这同一年里,另一个具有历史重要性的大事件发生了。凑巧,这个事件对于我个人的生活历程有决定性的影响,并对于我现在出席1957年度的诺贝尔贺宴是有关联的。借着您的允许,我想花几分钟就这件事说几句。

在上一世纪下半叶,西方文化和经济体系扩张影响的冲击给中国人带来了剧烈的矛盾和冲突。人们激烈辩论的问题是:中国应当在多大程度上引进西方文化。然而,在答案得出之前,理智被感情所压倒,在1890年代兴起了在中国称之为义和团的民团,在英语里称作Boxers,他们声称能赤身抵挡现代武器的攻击。

他们对于在中国的西方人所采取的愚昧无知的行动促成了1900年许多欧洲国家,和美国的军队进占北京,这个事件被称之为义和团战争。其特点是双方的野蛮的屠杀和可耻的掠夺。归根结柢,这个事件起因于骄傲的中国人的愤怒的感情;他们遭受着外来的日益加重的压榨和内部的腐化与堕落。同时,这个事件在历史上可被看作是加速地解决了中国应当在多大程度上引进西方文化的这场大辩论。

这个战争在1901年结束,当时签订了一个条约,条约中的一项规定,中国要赔偿列强总数为五亿盎司的白银,这在当时是一个惊人的数目。大约10年后,以一个典型的美国姿态,美国决定把赔款总数中其分享的部分归还中国。这笔钱用来建立了一项基金,创建一座大学,即清华大学;另外还设立了留美研究生奖金。我是这两个项目的直接受益者。我成长在一个与世隔绝的、学院气氛浓郁的大学校园里,我的父亲是这所学校的一位教授,我享受着宁静的童年。这一切,与我同时代的大多数中国青少年不幸是享受不到的。后来,就在清华大学里,我接受了出色的头二年的研究生教育。而后,又得到留美研究生奖金的资助到美国继续我的学业。

今天,我站在这儿向你们叙述这一切时,我以沉重的心情体会到这一事实:从不只一层意义上说,我是中国和西方两种文化共同的产物,二者既有冲突,也有协调。我想说,我既为我的中国根源和背景感到骄傲,也为我献身于现代科学而感到满意,现代科学是人类文明起源于西方的一部分——对于它,我将继续奉献我的努力。

物理学中的宇称守恒及其他对称定律

——在瑞典科学院的诺贝尔演讲(1957)

本文是作者于 1957 年 12 月 11 日之诺贝尔演讲，原载《诺贝尔奖金》，*Les Prix Nobel*，斯德哥尔摩，诺贝尔基金会，1957，中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985 年 12 月。译者甘幼玶、黄得勋。

有此机会同诸位讨论宇称守恒及其他对称定律，我感到莫大的高兴和荣幸。我将先概括地谈谈物理学中守恒定律的作用。其次，谈谈导致推翻宇称守恒定律的发展过程。最后，讨论物理学家由经验知悉的某些其他对称定律。这些定律尚未形成一个完整而概念上简单的格局。李政道博士将在他的演讲中谈及宇称守恒定律被推翻以来的一些饶有兴味而且激动人心的发展①。

一

对称定律完全符合我们的日常生活经验。其中最简单的一种，即空间的各向同性和均匀性，可以追溯到人类思想的早期历史。运动定律在匀速运动的坐标转变中的不变性(即“伽利略变换”不变性)是一种比较复杂的对称性。物理学者很早就知道这种对称性，它构成了牛顿力学的基石之一。上世纪的物理学家深入研究了这些对称原理所引起的结论，并推出了许多重要的后果。

一个好例子就是在各向同性固体中只有两个弹性常数的定理。

对称定律的另一类后果与守恒定律有关。今天大家都知道，一般说来，一个对称原理(或者，一个相应的不变性原理)，产生一个守恒定律。例如，空间位移下物理定律不变性的结果是动量守恒，空间旋转下不变性的结果是角动量守恒。这些守恒定律的重要性虽然早已得到人们的充分了解，但它们同对称定律间的密切关系似乎直到20世纪初才被清楚地认识。[②](请参看图1)

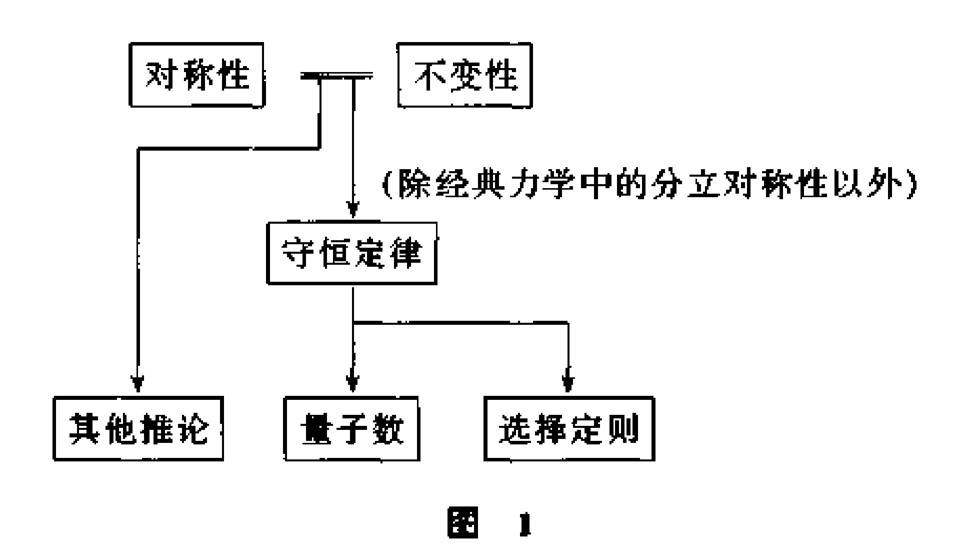


图　1

随着狭义相对论和广义相对论的出现，对称定律获得了新的重要性：它们与动力学定律之间有了更完整而且相互依存的关系，而在经典力学里，从逻辑上来说，对称定律仅仅是动力学定律的推论，动力学定律则仅仅偶然地具备一些对称性。并且在相对论里，对称定律的范畴也大大地丰富了。它包括了由日常经验看来决不是显而易见的不变性，这些不变性的正确性是由复杂的实验推理出来或加以肯定的。我要强调，这样通过复杂实验发展起来的对称性，观念上既简单又美妙。对物理学家来说，这是一个巨大的鼓舞。大家认识到有理由希望自然界具有一种我们可以企求了解的秩序。

然而，直到量子力学发展起来以后，物理学的语汇中才开始

大量使用对称观念。描述物理系统的状态的量子数常常就是表示这系统对称性的量。对称原理在量子力学中所起的作用如此之大，是无法过份强调的。且举两例：周期表的总结构，本质上是库仑(Coulomb)定律各向同性的直接结果。反粒子(如正电子，反质子，反中子)的存在，是根据洛伦兹(Lorentz)变换的对称性而理论地预料到的。在上述两例中，造化看来利用了对称定律的简单数学表述方式。当人们仔细考虑这过程中的优雅而完美的数学推理，并把它同复杂而意义深远的物理结论加以对照时，一种对于对称定律的威力的敬佩之情便会油然而生。

对称原理之一，即左右对称，是与人类文明一样古老的观念。自然界是否具有这样一种对称性，过去的哲学家们一直争论不休[③]。当然，在日常生活中，左右是明显可分的。例如，我们的心脏处在身体左侧。我们的语言甚至还有这样的内涵：不论在东方还是在西方，右边都意味着美好，而左边意味着邪恶。然而，物理定律过去却一直显示出左右之间的完全对称性，日常生活中的不对称性被归咎于周围环境或有机生命体初始条件的偶然的不对称性。为了再进一步解释这一点，假定存在这样一个镜中人，他的心脏在身体的右侧，其他内脏也处在同我们相反的一侧，而构成他身体的分子(例如糖分子)也是我们身体分子的镜像，再假定他所吃的食物也是我们所吃食物的镜像，那么，按照过去物理定律，他的身体机能就应该和我们的完全一样有效地进行。

左右对称定律在经典物理中已被应用，但它并不显得特别重要。其中一个原因是，左右对称是一种分立对称性，不像旋转对称是连续的。而在经典力学中，连续对称一定导致守恒定律，分立对称则不然。但是，随着量子力学的引入，分立对称性与连续对称性的这种差别消失了。因而，左右对称定律也导致一种守恒定律，即宇称守恒定律。

这个守恒定律的发现可以追溯到1924年，当时拉波蒂[④](O. Laporte)发现，复杂原子的能级可以分为"Gestrichene"和"Ungestrichene"两类。或者，用后来的名词来说，即偶能级和奇能级两类。在这些能极之间跃迁，如果只发射或吸收一个光子，拉波蒂发现，能级总是由偶变奇，或由奇变偶。能级的这种奇偶性后来就叫做能级的宇称。偶能级定义为具有+1宇称，奇能级定义为具有-1宇称。另外，光子的宇称定义为-1。因此拉波蒂规则可以表述如下：在发射一个光子的原子跃迁过程中，初态的宇称等于终态的总宇称。（在计算宇称时要把所有粒子的宇称乘起来。）换句话说，在跃迁过程中宇称守恒，即不改变。

1927年维格纳[⑤](E. P. Wigner)采取了关键且意义深远的一步。他证明拉波蒂的经验规则是原子中电磁力的反映不变性，即左右对称性的后果之一。这一基本思想被迅速地吸收到物理学的语言中。因为在其他相互作用中左右对称性也是毫无疑问的，这种思想进一步被推广到其他新的物理学领域，诸如核反应，β衰变，介子相互作用及奇异粒子物理中。原子宇称以及核宇称都变成常用观念，而且人们开始讨论和测量介子的内禀宇称。通过这些发展，宇称的概念及宇称守恒定律成果累累。这些成功又被看作是验证了左右对称性。

二

在这种背景上，所谓θ—τ之谜在最近几年里发展起来了。在解释什么是θ—τ之谜以前，最好稍微先谈一谈亚原子粒子之间相互作用的分类问题。这种分类是物理学家通过近50年来的经验而获得的。四类相互作用表列于下：

1. 核力　　　　1

2. 电磁力　　　　10^{-2}

3．弱力(衰变相互作用)　　　　　　10^{-13}

4．万有引力　　　　　　　　　　　10^{-38}

这些相互作用的强度由表中右边一列数字表示。最强的是核相互作用，包括把核子结合在一起的力以及核子和 π 介子之间的相互作用，也包括产生奇异粒子的相互作用。第二类相互作用是电磁相互作用，物理学家对此已有许多知识。事实上，19 世纪物理学界最辉煌的成就便是对于电磁力的详尽了解。随着量子力学的出现，对电磁力的这种了解原则上为日常生活所遇到的几乎所有物理、化学现象提供了一种精确、完整和详细的描述。第三类力即弱力，是本世纪初首先在核的 β 衰变中发现的。近 25 年来，对核的 β 衰变进行了大量实验研究。随着 $\pi—\mu$，$\mu—e$ 衰变以及 μ 俘获的发现，克莱茵(O. Klein)、蒂欧姆诺(J. Tiomno)和惠勒(J. A. Wheeler)以及李政道、罗森布鲁思(Rosenbluth)和我各自独立地注意到这些相互作用与 β 衰变具有大约相同的强度[⑥]。它们叫做弱相互作用。过去几年，随着与奇异粒子衰变有关的其他许多弱相互作用的发现，这一类相互作用的事例不断增加。它们的强度几乎一样，这个无例外而且引人注目的规律今天仍是最使大家感兴趣的现象之一。我稍后还要回过头来谈这个问题。至于最后一类相互作用，即万有引力，我们只需提及一点，即它们在原子相互作用和核相互作用中是如此之弱以致在用现有技术进行的各种观测中可以完全被忽略掉。

现在回到 $\theta—\tau$ 之谜。1953 年达立兹(R. Dalitz)和法布芮(E. Fabri)指出[⑦]，从 θ 介子和 τ 介子衰变过程

$$\theta \longrightarrow \pi + \pi$$

$$\tau \longrightarrow \pi + \pi + \pi$$

中，可以获得 τ 介子和 θ 介子的自旋和宇称的信息。他们的论证

可以简介如下。原来早已确定 π 介子的宇称是奇的(即 = -1)。让我们先忽略 π 介子的运动。在 θ 介子衰变的过程中为使宇称守恒，θ 介子的宇称必须等于两个 π 介子的总宇称(即宇称积)，即必须为偶(即 = +1)。同样地，τ 介子必须具有三个 π 介子的总宇称，即它的宇称是奇的。但实际上，因为 π 介子的运动，事情并不像上面所说的那样简单明确。为了使论证严谨可信，必须测量研究 π 介子的动量分布和角分布。许多实验室做了这方面的研究。到了 1956 年春天，积累的实验数据看来毫不含糊地指出，用了上面所提到的推理方法，θ 和 τ 并不具有相同的宇称，因而不可能是同一种粒子。然而这个结论与差不多在同一个时候做出的其他实验的结果明显地互相矛盾。这种矛盾称之为 θ—τ 之谜，它被广泛地讨论。为了说明当时的气氛，让我引述 1956 年 9 月在西雅图举行的一次国际理论物理会议上我所作的题为《有关新粒子的当前知识》报告中的一段话，这段话涉及断定 θ 与 τ 不是同一种粒子的结论[8]：

> 然而，不应匆忙即下结论。这是因为在实验上各种 κ 介子(即 τ 和 θ)看来都具有相同的质量和相同的寿命。已知的质量值准确到 2 至 10 个电子质量，也就是说，准确到百分之一，而寿命值则准确到百分之二十。我们知道具有不同自旋和宇称值而与核子和 π 介子有强相互作用的粒子不应该具有相同的质量和寿命。这就迫使人们怀疑上面提到的 τ^+ 和 θ^+ 不是同一粒子的结论是否站得住。附带地，我要加上一句：要不是由于质量和寿命的相同，上述结论肯定会被认为是站得住的，而且会被认为比物理学上许多其他结论更有依据。

那时候，物理学家发现他们所处的情况曾被指出就好像一个人在一间黑屋子里摸索出路一样。他知道在某个方向上必定有

一个能使他脱离困境的门。然而究竟在哪个方向上呢?

原来,那个方向就是,宇称守恒定律不适用于弱相互作用。但是,要从根本上推翻一个已被公认的概念,必须首先证明,为何原先支持该概念的那些证据是不充分的。李政道博士和我[9]详细考察了这个问题,并在1956年5月得出下述结论:(A)过去做过的关于弱相互作用的实验实际上与宇称守恒问题并无关系。(B)在较强相互作用(即上面谈过的第一、二类相互作用)方面,确实有许多实验以高度准确性确立了宇称守恒定律,但准确度仍不足以揭示在弱相互作用方面宇称守恒或不守恒。

在并没有实验支持的情况下,长期以来,人们竟错误地相信弱相互作用中宇称守恒,这个事实本身是令人吃惊的。然而更令人吃惊的是,物理学家如此充分了解的一个空间时间对称定律可能面临破产。我们并不喜欢这种可能。我们是由于试图理解θ—τ之谜的各种努力都遭到挫折[10],而被迫考虑此可能。

在后面将要提到,在物理学中已知有一条守恒定律,即同位旋守恒,在第一类相互作用下成立而当引入其他较弱的相互作用时则不成立。然而这不是与时间或空间的对称性有关的守恒。在涉及时空的问题上,没有人曾经相信对称性是不绝对准确的。事实上,今天既然在弱相互作用中宇称守恒定律已知不成立,那么是不是在描述这些现象时通常的时空概念应该认为是不完全恰当的呢?在我的发言之末尾,我将有机会回到一个与此密切相关的论题上来。

为什么在大量关于β衰变(在各种弱相互作用中,β衰变是研究得最为透彻的)的实验中,竟没有关于弱相互作用下宇称守恒的信息呢?答案来自两个方面。首先,中微子没有被测量得到质量,这引起了模棱两可的情况,因而由β谱等简单实验得不到关于宇称守恒的间接信息[11]。其次,要直接由β衰变研究宇称守

恒，像以前那样只讨论核的宇称是不够的。必须研究整个衰变过程的宇称守恒。换句话说，必须设计一个能够测验衰变中左右对称性的实验。这样的实验以前还未做过。

一旦明白了这一点，就容易懂得，那种实验才能明确检验从未检验过的在弱相互作用下宇称守恒的假设。李政道博士和我在 1956 年夏提出了⑨涉及 β 衰变，$\pi—\mu$，$\mu—e$ 及奇异粒子衰变的一系列这种实验。所有这些实验的基本原理全都一样：安排两套实验装置，它们互为镜像且包含弱相互作用。然后检查这两套装置仪表上的读数是否总是相同。如果读数不同，就毫不含糊地证明左右对称性不成立。此想法示于图 2，它描述用以检验在 β 衰变中宇称是否守恒的实验。

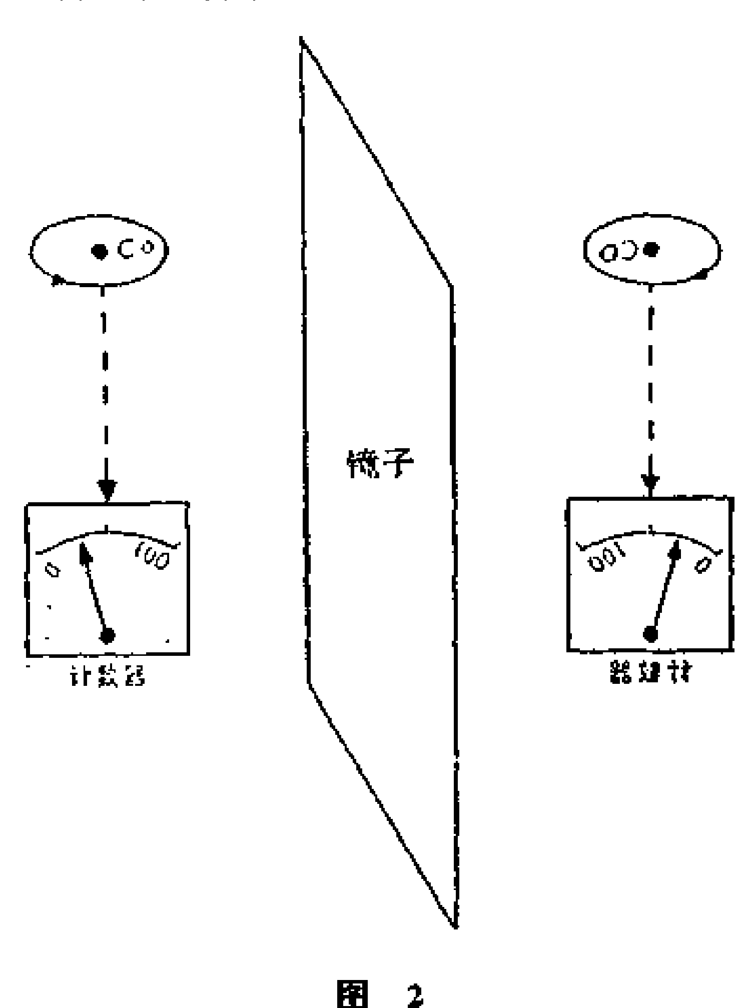


图 2

这个实验首先由吴健雄、安布勒(E. Ambler)、海沃德(R. W. Hayward)、霍普斯(D. D. Hoppes)和赫德逊(R. P. Hudson)[12]在1956年下半年着手进行而于今年初完成。实际的实验装置非常复杂。因为要消除外界干扰的影响,实验必须在极低的温度下进行。把 β 衰变的测量和低温装置结合在一起是前所未闻的,这是主要的困难之一。这个难题被吴健雄她们成功地解决了。过去一年中关于宇称守恒问题的惊人的重大发展,应归功于她们的勇气和技巧。

吴健雄博士、安布勒博士及她们的合作者的实验结果是,图2中两个仪表的读数差别非常之大。既然她们的实验装置的其他部分是符合左右对称的,则不对称性必须是由钴的 β 衰变所引起的。得悉这个实验的结果后,人们很快地就做了许多其他实验,它们都证明了各种弱相互作用下宇称不守恒。李政道博士在他的演讲[1]中将谈到这些令人感兴趣的重要发展。

三

宇称守恒定律的崩溃使涉及物理学中对称定律的一系列问题显得突出了。现在我们就来概括性地简单讨论一下这些问题。

(A)正如李政道博士将要讨论的,吴健雄、安布勒和她们的合作者的实验也证明了的[13][14],对 β 衰变来说,电荷共轭不变性[15]也不成立。对弱相互作用来说,另一类对称性即时间反演不变性[16]目前正在进行实验研究。

三个分立不变性——反映不变性,电荷共轭不变性和时间反演不变性——是通过一个重要的称为 CPT 的定理[17]联系起来的。应用此定理,可以证明[18]许多有关在弱相互作用下这三种对称性被破坏的现象。

特别令人感兴趣的是,时间反演不变性在弱相互作用下可能

是不受破坏的。倘若如此，由CPT定理就会得出，虽然宇称不守恒，但在取镜像时如把所有粒子变为反粒子，左右对称性仍然成立[18]。用图2来说，这意味着，倘若时间反演不变性成立，则把构成右边装置的物质全部转变成反物质，两边仪表的读数便变成相同了。注意下面这一点是重要的：在反映的通常定义中，电场是个矢量而磁场是个赝矢量。而在这个改变了的定义中，电场和磁场的变换性质被反转了过来。电荷和磁荷的变换性质也相互调换。宇称不守恒和电场、磁场的对称或不对称，这中间可能存在的关系，将是饶有兴味的研究题目。

在过去的一年里，对于连续的时空对称定律是否正确的问题，已经有了某种程度的讨论。有很好的证据表明，在弱相互作用中，这些对称定律并没有被推翻。

(B)另一个被广泛讨论的对称是引起同位旋守恒的对称[19]。近年来，应用这个对称定律，在涉及奇异粒子的现象中已经产生了引人注目的经验规律[20]。然而它肯定是在所有对称定律中被了解得最少的一个。与洛伦兹不变性或反映不变性不同，它不是一个与时空不变性质有关的“几何”对称定律。与电荷共轭不变性[21]不同，看来它并不起源于出现在量子力学中的复数的代数性质。在这些方面，它类似于电荷和重粒子守恒律。但是，后述的定律当引入电磁相互作用和弱相互作用时仍是准确的，而同位旋守恒那时就被破坏了。了解同位旋守恒的起因以及如何把它纳入整体对称系统，无疑是今天高能物理学所面临的突出问题之一。

(C)我们前面已提及，各种各样的弱相互作用的强度几乎一样。过去一年关于宇称不守恒的实验工作揭示出，它们很可能也都不遵守宇称守恒和电荷共轭不变性。因此，一旦人们分好质子与反质子的名称后，用这些弱相互作用就可以区分左和右了。反

过来，一旦人们确定了左右的定义后，也可以用弱相互作用来区分物质和反物质。如果时间反演不变性不正确，更可用弱相互作用来区分左右，同时也区分物质和反物质。在这里人们察觉，弱相互作用的起源可能与左右的可区分性及物质与反物质的可区分性等问题密切相关。

参考文献：

① 李政道(T.D.Lee)，诺贝尔演讲，1957。

② 有关这方面的发展，参见 E.P.Wigner, Proc.Am.Phil.Soc.93,521 (1949).

③ 请参看关于左右对称的有趣讨论：H. Weyl, *Symmetry*, Princeton University Press(1952)。

④ O.Laporte, Z.Physik 23,135(1924).

⑤ E.P.Wigner, Z.Physik 43,624(1927).

⑥ O.Klein, Nature 161,897(1948); J.Tiomno and J.A.Wheeler, Rev. Mod.Phys.21,144(1949); T.D.Lee, M.Rosenbluth and C.N.Yang, Phys. Rev.75,905(1949).

⑦ R.Dalitz, Phil.Mag.44,1068(1953); E.Fabri, Nuovo Cimento 11,479 (1954).

⑧ C.N.Yang, Rev.Mod.Phys.29,231(1957).

⑨ T.D.Lee and C.N.Yang, Phys.Rev.104,254(1956).

⑩ T.D.Lee and J.Orear, Phys.Rev.100,932(1955); T.D.Lee and C. N.Yang, Phys.Rev.102,290(1956); M.Gell-Mann, unpublished; R.Weinstein, private communication; a general discussion of these ideas can be found in the *Proceedings of the Rochester Conference* (April 1956, Interscience Publishers), Session Ⅷ.

⑪ C.N.Yang and J.Tiomno, Phys.Rev.79,495(1950).

⑫ C.S.Wu, E.Ambler, R.W.Hayward, D.D.Hoppes, and R.P.Hudson, Phys.Rev.105,1413(1957).

⑬ T. D. Lee, R. Oehme and C. N. Yang, Phys. Rev. 106, 340(1957).

⑭ B. L. Ioffe, L. B. Okun and A. P. Rudik, J. E. T. P. (U. S. S. R.) 32, 396(1957). English translation in Soviet Phys. JETP, 5, 328(1957).

⑮ Charge conjugation invariance is very intimately tied with the hole theory interpretation of Dirac's equation. The development of the latter originated with P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. A126, 360 (1930); J. R. Oppenheimer, Phys. Rev. 35, 562(1930) and H. Weyl, *Gruppentheorie und Quantenmechanik*, 2nd edition, P. 234(1931). An account of these developments is found in P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. A133, 60(1931). Detailed formalism and application of charge conjugation invariance started with H. A. Kramers, Proc. Acad. Amst. 40, 814(1937) and W. Furry, Phys. Rev. 51, 125(1937).

⑯ E. P. Wigner, Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-physik. 1932, P. 546. This paper explains in terms of time reversal invariance the earlier work of H. Kramers, Proc. Amsterdam, 33, 959(1930).

⑰ J. Schwinger, Phys. Rev. 91, 720, 723(1953); G. Lüders, Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Mat.-fys. Medd. 28, No. 5(1954); W. Pauli's article in *Niels Bohr and the Development of Physics* (Pergamon Press, London, 1955). See also reference 21.

⑱ 李政道和杨振宁曾讨论过此可能。见杨振宁在1956年西雅图的国际理论物理会议上的讨论。(见⑧。)其与CPT定理之关系在该会议的一个讨论中报告过。此可能后来发表于 T. D. Lee and C. N. Yang, Phys. Rev. 105, 1671(1957). Independently the possibility has been advanced as the correct one by L. Landau, J. E. T. P. (U. S. S. R.) 32, 405(1957). An English translation of Landau's article appeared in Soviet Phys. JETP, 5, 336(1957)。

⑲ The concept of a total isotopic spin quantum number was first discussed by B. Cassen and E. U. Condon, Phys. Rev. 50, 846 (1936) and E. P. Wigner, Phys. Rev. 51, 106(1937). The physical basis derived from the equivalence of p-p and n-p forces, pointed out by G. Breit, E. U. Condon and R. D. Present, Phys. Rev. 50, 825(1936). The isotopic spin was introduced earlier as a formal mathe-

matical parameter by W. Heisenberg, Z. Physik 77, 1(1932).

⑳ A. Pais Phys. Rev. 86, 663(1952) introduced the idea of associated production of strange particles. An explanation of this phenomenon in terms of isotopic spin conservation was pointed out by M. Gell-Mann, Phys. Rev. 92, 833 (1953) and by K. Nishijima, Progr. Theoret. Phys. Japan, 12, 107(1954). These latter authors also showed that isotopic spin conservation leads to a convenient quantum number called strangeness.

㉑ R. Jost, Helv. Phys. Acta 30, 409(1957).

注：

关于宇称观念的早年历史：与维格纳同时引入宇称观念的有韦耳(H. Weyl)。韦耳在一本极重要的书中(*Gruppen Theorie und Quantenmechanik*, Leipzig, 1928)引进了反映(Spiegelung)的观念。宇称(Parity)一名词在1931年以前似乎还未出现。1935年的书中已大量引用此名词。见 Condon and Shortley, The Theory of Atomic Spectra, Cambridge University Press, 1935。

关于电荷共轭不变性的早年历史：上面所引⑮中的1931年狄拉克的文章发表以后，如何处理无限多的电子海仍是讨论了很多年的问题。玻尔(Bohr)和泡利(Pauli)都不愿接受电子海的观念。〔见 Moyer, Am. J. Phys. 49, 1055(1981)与 Weisskopf 在 *The birth of Particle Physics*, Ed. by Brown and Hoddeson, 1983 中的文章。〕作者对狄拉克之大胆提出电子海的远见十分佩服。(见杨振宁《选集与后记》, Freeman and Co. 1983, p. 236。)1982年作者曾问狄拉克他的1930年关于电子海的文章是否狂妄(Crazy)。他给了一个狄拉克式的答案："不然，原子周期表中已显示出来洞(holes)的观念。"与⑮中所引最后两篇文章同时尚有另一篇文章也发展了共轭不变性理论：Majorana, Nuovo Cimento 14, 171(1937)。战后 Furry 的文章⑮被推广，最后与同位旋守恒结合引导出 G 宇称的观念。见 Michel, Nuovo Cimento 10, 319(1953)，李政道与杨振宁, Nuovo Cimento 3, 749(1956)。

关于时间反演不变性的早年历史：上引⑯中的维格纳的文章并没有很快被物理学家所接受。泡利在1941年的文章：Rev. Mod. Phys. 13, 203(1941)

中就引用了错误的时间反演算符，因为他没有采用维格纳的复共轭观念。时间反演不变性用到实际问题由 Lloyd 开始：Phys. Rev. 81, 161(1951)。

关于 CPT 定理的早年历史：泡利于 1936 年开始研究自旋与统计法(Spin and Statistics)之关系：Inst. H. Poincaré Ann. 6, 137(1936)；Phys. Rev. 58, 716 (1940)。战后，Lüders, Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Mat-fys. Medd. 28, No. 5(1954)与 Schwinger, Phys. Rev. 91, 713(1953)；94, 1362(1954)引导出⑰所引的泡利文章。CPT 定理是场论的基本定理之一㉑。

关于 CP 不守恒的历史：1957—1964 年间所有实验结果都与 CP 守恒定律符合。见杨振宁《基本粒子发现简史》，上海科学技术出版社，1963。1964 年夏，一个新的实验证明在弱相互作用下 CP 也不守恒：Christenson, Cronin, Fitch, Turlay, Phys. Rev. 13, 138(1964)。用了 CPT 定理即得到下面的结论：C, P 和 T 在弱相互作用下都不守恒。通过这二十多年来的大量实验工作，这些不守恒现象的唯象分析今日已大体完成。

回顾：1957 年以来许多关于对称性的破坏的发展起了四个作用：(一)对称性的研究变成基本物理中心问题之一。通过规范场与自发破缺的观念，对称性之研究更成了今日的主流思想。(二)中微子理论因为宇称不守恒回到了韦耳的二分量场：Z. Phyk, 56, 330(1929)。这是下面三篇文章提出来的发展：Salam, Nuovo Cimento 5, 299(1957)；李政道与杨振宁，Phys. Rev. 105, 1671(1957)；Landau, Nuclear Physics 3, 127(1957)。(三)1973 年 Kobayashi 和 Maskawa：Progress Theo. Phys. 49, 652(1973)指出在夸克理论中，因为有 CP 不守恒，可以预言必须有六个或更多的夸克。这个预言后来果然被证实。(四)宇称不守恒使得极化的现象容易发生。因此许多与极化有关的现象被研究清楚。

前瞻：为什么在弱相互作用下，C, P 和 T 都不守恒？这是目前还完全不能了解的问题。作者认为这个问题恐怕不是 10 年 20 年之内可以解决的。

(以上注文系作者在 1985 年所加)

V-A 耦合：β 衰变的新篇章

——关于《β 衰变》(1958)一文的后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年 9 月。译者甘幼玶。原标题为《[58a]〈由 Λ^0 衰变时大的角不对称性确定其自旋的可能性〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1957 年 4 月，我们全家到了巴黎，开始我们的首次欧洲之行。我先在高等师范学校讲学，随后到日内瓦的欧洲核子研究中心(CERN)工作两个月。当时，CERN 的第一座大楼刚竣工，但其理论部办公室仍设在机场里租来的活动房屋中。那时，Tatiana Faberge 已经是理论部的秘书，直到今天，她还担任此职。那年夏天，与我讨论得最多的物理学家是 L. Ferretti, O. Piccioni (彼斯奥尼)和斯坦伯格(J. Steinberger)。

8 月底，我们全家回到美国。在返回普林斯顿之前先到布鲁克海文呆了一个月。

由于发现了弱作用下宇称不守恒，核物理学家和高能物理学家都一窝蜂去研究各种类型的弱作用。在 1957 年，做了许多关于 β 衰变的实验，其中有些用了宇称不守恒作为新工具，另一些

则仍采用1957年以前已知的方法。测量β衰变中的纵向极化，是特别重要的一项发展。李政道和我在1956年已经考虑过这种实验，但那时候我们认为纵向极化是非常难以探测的，因此，我们未把它列入论文[56h]所建议的实验清单之内。我们始料不及的是，让电子束通过一个电场，便很容易把纵向极化转变成横向极化，而后者的探测则易如反掌。

1957年春、夏两季，许多物理学家都把精力集中在准确敲定β衰变的耦合这个问题上。由于我们囿于规范概念的偏见，李政道和我倾向于认为这种耦合应为矢量型和轴矢型的。在1957年4月15—19日的罗彻斯特会议的第九专题讨论会上，J. Tiomno（蒂欧姆诺）报告之后，我发言道："如果β衰变果真是矢量而非标量互作用的话，人们可能问这样一个问题：这是否与矢量场（这种矢量场起因于这些守恒定律的概念）有任何关系？"不幸的是，在实验方面情况很不明朗：不同的实验给出不同（甚至相反）的结果。随着夏天到来，矛盾越积越多。在CERN，后来又在布鲁克海文，我通过详细检查各种实验论文及与β衰变方面的专家商讨，决心要搞个水落石出。最后，我认定B. M. Rustad及S. L. Ruby关于He^6的实验最可靠。

可是，这一次我搞错了。夏末，费曼和盖尔曼，E. C. G. Sudarshan（苏达山）和R. E. Marshak（马尔夏克），还有J. J. Sakurai（樱井）通过理论分析，全都断言，耦合是V-A，同时，他们说He^6实验可能是错的。Sakurai的论文有下面这段脚注：

> 应该指出，作者在得知费曼-盖尔曼—Sudarshan-Marshak理论的几星期前就想到要把β衰变实验及π-μ-e序列同V-A等同起来。但是，杨振宁教授反对这种想法，他认为He^6反冲实验是比较可靠的（同杨振宁的私人通讯）。

Sakurai 没有搞错。他访问布鲁克海文时，我确实对他如是说。

虽然，V-A 耦合的说法（尤其是费曼—盖尔曼的守恒矢量流的观点）在理论上很吸引人，但是，因为还未找出 He^6 实验的错误之所在，故需要实验上的证实。M. Goldhaber（戈德哈伯）、L. Grodzins（格劳翠斯）和 A.W.Sunyar 用一个极精巧的实验通过测量中微子的旋性解决了这个问题。实验发现中微子的旋量为 -1。这是 V-A 耦合不容置辩的证据，从此开始了人们认识 β 衰变的新篇章。这实验在 1957 年 12 月初做成。我记得致礼和我动身去斯德哥尔摩的前两天，Goldhaber 打电话把实验结果告诉了我。

高等学术研究所邀请李政道在 1957—1958 学年来访。1957 年秋，他们一家搬到普林斯顿来，安顿在新落成的住宅里。现在，我们的合作要方便多了。我们进行了一项合作，其成果便是论文[58a]。这是一篇优美的论文，对测量超子的自旋很有用。

现代物理学中的对称原理(1959)

本文是作者于1959年11月6日在布赖恩莫尔(Bryn Mawr)学院成立75周年庆典中举行的“对称性”会议上的演讲。原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁谈科学发展》,八方企业出版社,1992年1月。译者张美曼。

今天上午,我们听了数学中的对称性概念及它在化学中的应用的讨论。现在,我想和你们讨论一下在20世纪物理学中对称性所起的一些作用。

在经典物理学中,各种形式的对称定律已经被确认和应用,然而,仅仅是在量子力学中,对称原理才担任一个本质性的角色。这是由于一个内在的原因,即量子力学中描写一个系统状态的叠加原理。例如,由于这个原理,氢原子中电子的椭圆轨道和圆形轨道具有对称性质,这种对称性可以用一种非常美的、意义深远的数学公式加以表现。正是在这个数学基础上,人们建立了对周期表的最漂亮的理解。对称性原理和它的物理结果之间的普遍关系用图1作说明。我们首先要注意到,一个对称原理,如转动对称或转动下的不变性,它的直接结果是一个守恒定律。在这个特殊的例子中,是角动量守恒。在经典力学中守恒定律是重要的,并且在经典力学中守恒定律和对称性之间的关系是已确认

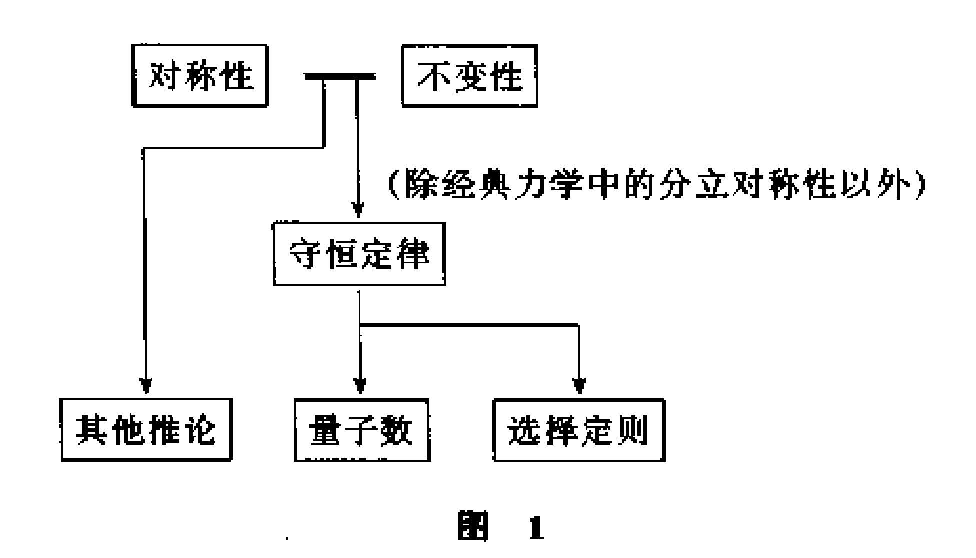


图 1

的。然而,是对称性与量子数和选择定则的关系才使得这些概念与今日物理学的语言不可分离。实际上,我们正运用量子数对各种各样的动力学系统进行分类,去研究这些系统的相同和区别。在原子和分子物理中就是这样做的。今天,在研究砌成原子的基本材料时——它们因此被称为基本粒子,又一次这样做了。在确认这些粒子时,我们规定了它们的量子数。一些量子数的意义是容易领会的,如质量、电荷、自旋或内禀角动量。其余的一些量子数,如宇称,只能在量子的语言中去理解它。另外,还有一些量子数,如奇异数,电荷共轭算符和同位旋,它们的存在则是从一些相当不寻常的,先前未预料的对称性得到的。

让我们首先看一下粒子的种类,在物理实验室中,人们已在对此进行研究。在图 2 中我们列出了质量小于质子质量的粒子。这些粒子又分成两类。一类粒子的自旋是普朗克常数除以 2π 后的整数倍,另一类粒子的自旋是普朗克常数除以 2π 后的半整数倍。我们注意到,自旋必须是普朗克常数除以 2π 后的一半的整数倍;这个事实是从转动对称的量子公式得到的。图 2 中的纵座标是能量单位下的粒子的质量。横座标是电荷。

在这个图中,正电子、电子和 γ 射线是相当熟悉的粒子。μ

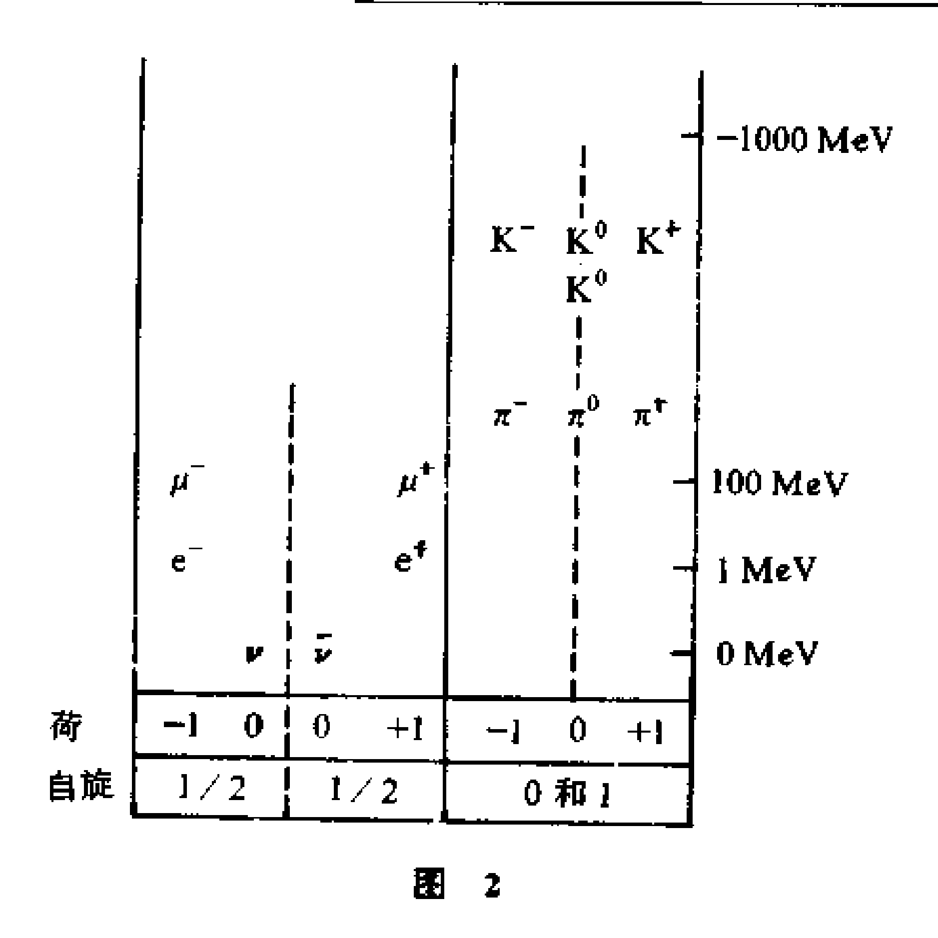


图 2

介子和 π 介子则是分别在第二次世界大战前后直接发现的。K介子属于新一类的粒子，给这类粒子起了一个名字“奇异粒子”，这表明物理学家对它们的性质不了解。中微子和反中微子是这个集合中两个最奇妙的粒子。图中粒子的量子数已被相当好地确定。

在图3中罗列了比质子重的粒子。所有这些粒子的自旋都是半整数。为什么会这样？这仍然是一个奥秘。在这个图中，中子和质子是很熟悉的粒子，它们是砌成原子核的积木。比较重的粒子属于奇异粒子类，近年来对它们进行了细致的研究，然而，它们的自旋和宇称还没有确定。图的左边是右边粒子的反粒子，我们应该补充一句，按同样的说法，正电子就是一个反电子。

对这些粒子性质的研究导致了支配它们之间相互作用力的

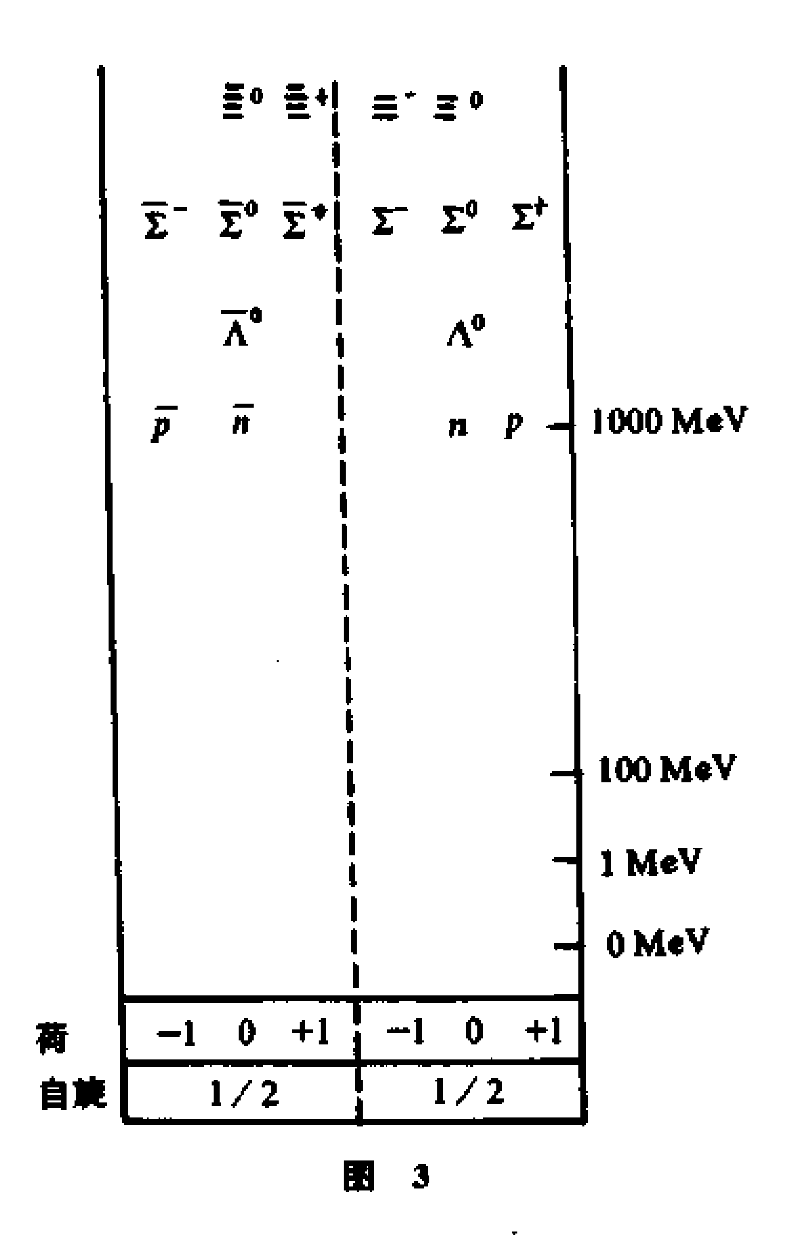


图 3

分类。一个协调一致的、划分明确的模式脱颖而出，这表示在下一张图表中。

力 1	核相互作用
力 2	电磁相互作用
力 3	弱相互作用
力 4	引力相互作用

图 4

从这张图表中我们看到，在这些粒子之间存在四种力或称四种相

互作用。这四种相互作用的强度相差很大。在这四种力中，人们对电磁力有比较好的了解。对于核力，人们进行了深入细致的研究，但是核力很大的强度使简单的数学描述归于失败。在弱作用力的标题下有许多种不同类型的相互作用。令人惊奇的是，尽管它们很不相似，但如图中所示，它们有大致相同的强度。在后面我们还有机会回到这一点上。引力是非常非常之弱，目前在原子标度上探测不到，然而它最终会对其它力施加影响。到目前为止，对它的研究完全超出粒子物理的范围。在我们的讨论中将它略去。

在研究粒子和它们之间的相互作用力时，人们发现，基本地表示了电磁作用所遵守的对称性的那些宏观对称性原理，实际上几乎全都原封不动地保留下来。然而，有一些在弱作用中破坏了。也发现了一些新的对称性，它们支配着两打奇异粒子之间相互作用的复杂的模式。所有这些对称性分为四类。

A 类是空间—时间对称性，包括由相对论不变性而产生的对称性及由空间反射不变性和时间反演不变性产生的对称性。对于这些对称性我们有相对较好的理解，它们有直接的几何意义。它们在经典物理中就已经起了重要的作用，它们已完全结合到描述基本粒子的理论语言中。从某种意义上，这种结合被认为可能是太密切了，因为它妨碍了我们对于与空间—时间连续结构相背离的结构的探索，这种可能性也许不是纯粹的空谈。

B类中有一种并且只有一种对称性，这就是电荷共轭对称。这种对称性的粗略意思是，每一个粒子都对应有一个带相反荷的电荷共轭粒子，也称为反粒子。在基本粒子名单中我们已经看到例证。电荷共轭对称概念是一个纯粹的量子力学概念，与任何诸如转动不变这类几何概念无关。它起源于狄拉克的电子理论。按今天的看法，它是量子理论和相对论不变性的要求相结合的逻辑

产物。然而,30年前狄拉克第一次提出电荷共轭概念时,这是大胆而意义深远的一步,如同第一次引入负数一样。后来对反粒子存在的实验证实,不仅是对称性原理实践结果的最漂亮最有力的证明,并且实际上也是理论推理的一个极可喜的意义深远的成功。

在C类中我们放了四个守恒定律:重粒子数守恒、电荷守恒、轻粒子数(即 e^-,μ^-和 V)守恒和同位旋守恒。这是一些守恒定律,我们把它们放在一起表示一类对称性原理。当然,理由是出于这一事实:这些对称原理和守恒定律是内禀有关的。

在最后一类对称中,我们把全同粒子之间的对称性和一类称之为交叉对称的组合在一起。交叉对称在下面两种过程的反应率之间建立关系。

$$A + B \longrightarrow C + D$$
$$A + \overline{D} \longrightarrow C + \overline{B}$$

这后一类对称当然与电荷共轭概念有关。然而它的详细含义与电荷共轭对称是很不同的,对它仅有一些含糊的理解。

最令人感兴趣的是,在这些对称性原理的发现中,几乎每一种情形都是从归纳—推理的过程中得到。这是说,发现是从对一些与对称性原理有关的结果的观察开始,然后,由此导出了不变性原理的公式表示,从这个原理再导出许多其它实验结果,并对它们进行检验。这种归纳—推理过程包含在相对论不变性、反射不变性、时间反演不变性和C类守恒定律的发现中。这是真实的,即不变性原理的突出作用导致了许多按这个过程的反方向去做的努力。换句话说,人们已经试图着把不变性原理用公式表示,然后从不变性原理的公式出发,推导动力学系统的性质。这一类努力,除了爱因斯坦的广义相对论,全都失败。我们似乎不能用要在新现象区域内使用的这类对称性来预言自然。一方面

是爱因斯坦广义相对论的深刻和透彻，另一方面是猜想不变性原理上的一贯失败，这恰恰表明了一件事：对称性的模式是一个复杂的，高度不平凡的系统。注意一下我们关于对称性的知识的发展，也可以瞥见这个事实。我们注意到，随着物理领域的扩展，对称原理的数目增加了，这种增加似乎并非独立无关地得到。理解它们的关系和它们之间概念上的统一，乃是一个主要的挑战。

目前，我认为在对称定律的模式中有三个问题特别值得研究。第一是产生同位旋守恒的对称原理。今天有忘记这一问题存在的倾向。人们倾向于说，同位旋守恒是同位旋空间转动不变性的结果。但这种说法肯定什么也没有解释。因为同位旋空间是一个为了"解释"同位旋守恒而想象出来的虚构的空间，我们不能在后面忘记这个出发点而把同位旋空间看得比守恒定律本身更实在，更基本。我们可以用下面的例子说明这一点：设想在量子力学发现之前，或者即使在量子力学发现之后，但在狄拉克电子理论建立之前，发现了正电子和反质子的存在，那么这一点会变得十分显然，即确实存在着电荷共轭对称原理，并且同时会给出一个经验性的、正确的描述。让我们把它与现在的观点作一比较。前面，我们提到，按照我们现在的理解，电荷共轭对称是量子理论和相对论不变性的结果。在这之前，我们也提到，历史上，引人注目的电荷共轭对称起源的论证是这个对称性存在的理论预言，是在实验证实之前。今天，我们不再需要去强调，电荷共轭对称不仅是一个肤浅的经验性的有效规则而已，它很深地札根于物理原理的基础之中。我所提出的同位旋守恒问题是一个对应的问题。到目前为止，这个守恒定律完全是一种经验性的描述，并不比同位旋的实验守恒定律阐述得更深入。

另一个最吸引人的问题是一些对称性定律在弱作用中被破坏的问题。近几年发现，表示空间—时间对称概念的宇称守恒的

破坏，在弱作用中发生得相当普遍。当然使强作用有较少的对称性，使弱作用有较多的对称性是没有意义的，因为强作用中对称性的缺少会掩盖弱作用中的对称性效应，使得后者成为不可观察和无意义。但是，这不能解释为什么弱作用中的对称性比强作用中的少。这个问题的一个可能的考虑是这样，将各种相互作用所满足的对称性列表如下：

力(1)：　　　　　　CP，T，C，I
力(1)+(2)：　　　　CP，T，C
力(1)+(2)+(3)：　CP，T

这里力的分类如图表 4 所示，符号 C.P.T 和 I 分别表示电荷共轭，空间反射，时间反演和同位旋对称。这里我们忽略了所有相互作用都服从的正洛伦兹不变性和超荷、轻子及电荷守恒。将 CP 重新解释为相应的空间反转，因此我们得出结论，所有的相互作用满足全部空间时间对称性，也就是正洛伦兹不变性，空间反转和时间反演不变性。这也强调了 C 和 I 作为对称性的类似，这两种对称性在含有弱作用时被破坏。

第三个问题与弱作用强度有关。依据很好的证据而提出了一个建议，按照这个建议，至少弱作用源的一部分与电磁场的源有相同的关系，它们分别是同位旋的不同分量。如果能证实这个建议，这将是最有兴趣的。这提出了与轻费米子有关的电磁场的结构问题，提出了量级为 10^{-16} 厘米的距离上的电磁场行为问题，也提出了弱作用本身在那样小的距离内的行为问题。

对称定律以一种费解的、错综复杂的方式彼此有关、并与其它物理定律有关，对这些定律的研究是今天基本物理的特征之一。希望所有这些研究会导致一种统一和必然的概念上的简化，并导致这些对称性在物理中所起的作用的一体化。

苏联关注规范场研究

——《全局对称性》(1961)一文的后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[61b]〈全局对称性的某些考虑〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1960到1961年，李政道和我对强作用的大对称群做了一些推测。论文[61b]就是其中之一。它是在1960年实验上发现了各种新的共振之后写成的。

1960年末和1961年初在高等学术研究所对大对称群有许多讨论。正如论文[61b]的脚注14所指出的，D. R. Speiser(斯派泽)和J. A. Tarski为SU_3的可能性做了大量工作。那是在收到盖尔曼的预印本之前的事。由于某种原因，他们很迟才把自己的论文发表。

1950年代末，已经把规范理论的概念应用到强作用理论及弱作用理论上去。1960年，J. Sakurai(樱井)发表了一篇论文，非常热心地提出了一种强作用的非阿贝尔理论。他把这个理论称为VTSI，即强作用的矢量理论(VTSI是英文Vector Theory of Strong Interaction的字首缩写，译注)，这篇论文的摘要是我在物

理学文献中见过的最长者。ρ和ω被发现后，他给我来了一封信，表达了他的愤懑之情，他认为我对他"这两年所追求的目标持超然态度，不太同情"。接着，他说：

> 你常对青年理论物理学家说，理论家至高无上的任务就是建议去做好的实验。然而，你在1954年提出杨振宁—米尔斯理论时，并没有鼓励人们做实验去寻找"杨振宁—米尔斯粒子"。这是何故?

我记得，当时我长时间愣愣地坐在那里，不知如何回信才好。后来到底回信了没有，我就记不清了。我想，即使那时回了信，也必定只是一些闪烁其词的客套话，没有什么意义。

1950年代末，在苏联，人们对规范理论也颇感兴趣。1964年，D. Ivanienko编辑了一本书，载有15篇规范理论文章的俄译，书名叫做《基本粒子和规范场》包括了J. J. Sakurai(樱井)、盖尔曼、格拉肖、施温格(J. Schwinger)、萨拉姆、J. C. Ward(华德)、R. Utiyama、T. Kibble、Y. Ne'eman(尼曼)和B. d'Espagnat(德斯培纳特)等人的文章，论文[54C]、[55b]也收了进去。

不随波逐流是极端重要的

——《关于量子化磁通》(1961)一文的后记

此后记原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[61c]〈关于超导圆柱体中量子化磁通的理论考虑〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1961年春,我到斯坦福大学访问了几个月。该校活跃的研究风气,以及美好的天气都给我留下了深刻的印象。新来乍到,W.M.Fairbank(费尔班克)就让我看了他同B.S.Deaver(第弗尔)正在做的关于超导体中可能存在的磁通量子化的实验。Fairbank是从杜克(Duke)大学调到斯坦福的。1957年他在杜克曾做了一个漂亮的实验,求得液氦在λ相变点的无限大比热。那个实验非常重要,原因是:(1)所达到的精确度极高;(2)解决了理论物理学家关于λ相变点处的比热究竟有限还是无限的争论;(3)它是奠定相变理论的一系列发现中的头一个。这些发展导致趋向相变的临界指数的提出,而临界指数是1960年代的一个重要发展。我曾见过Fairbank在杜克的实验装置,它的雅致,当然,还有他所得到的结果,都给我留下了深刻的印象。

磁通量子化实验也是非常困难的。让我看过他和Deaver正

在进行的实验之后，Fairbank 问我，他们是否已经成功地发现了磁通量子化，另外他还问，磁通量子化是不是一个物理学的新原理？在这次谈话之前，我从未想过磁通量子化这件事，当然也就回答不了他的问题。之后，N. Byers（伯厄斯）和我开始研究这个课题。F. London（伦敦）和昂萨格亦曾经讨论过。我们逐渐认识到，虽然 London 和昂萨格对超导环中可能存在的磁通量子化的洞察力令人瞩目，而且，或许他们是正确的，不过，他们的推理却错了。特别是，London 的《超流体》对这个问题最完整的讨论并不正确，因为它基于一个不正确的假设，认为磁通存在时，超导体的波函数与磁通不存在时的波函数成正比。正如后来布洛赫（F. Bloch，1952 年诺贝尔物理学奖得主，译注）和 H. E. Rorschach 指出的，倘若 London 的论证正确的话，所有的环在一切温度下将具有量子化的磁通，事实当然不是这样。

按照已知的物理学原理，超导环中究竟是否应该有磁通量子化？伯厄斯和我一时摸不着头脑。这当儿，Deaver 和 Fairbank 取得了开创性的结果。他们把结果告诉了布洛赫、伯厄斯和我。Deaver 和 Fairbank 认为，这些结果表明了磁通量子化的存在。而布洛赫、伯厄斯和我则认为，这还说不准。在这之后不久，我到东海岸去了几天。再回到斯坦福时，Deaver 和 Fairbank 正在用第二个样品做实验，结果，在他们所作的关键的图上得到了漂亮的“阶梯”。即使是一个实验物理的门外汉也能看出，磁通量子化的确存在。稍后，伯厄斯和我终于搞清楚，磁通量子化遵循通常的物理原理，即 BCS[①] 超导理论。这就是这篇论文的起源。

从 Deaver 和 Fairbank 获得开创性的结果这件事，使我再次认识到，某一领域内的专门家的确能察觉一些未受过训练的外行人所不能察觉的事物。可是，我还相信，布洛赫、伯厄斯和我所采取的怀疑态度是一种健康的态度。不随波逐流对我们这个学科

取得进展来说是极端重要的。当然，反过来也对（或者更对一些）：实验物理学家绝不能被理论物理学家所吓倒。100年前，麦克斯韦写信告诉法拉第，他正努力用数学语言来表达法拉第的物理思想。法拉第在1857年3月25日的回信中写道：

尊敬的阁下：

大作收悉，不胜感荷。您对“力线”的高见，我不敢苟同，因为我知道，虽然您所做的一切都是为了哲学的真理，但您要知道，我对“力线”是非常欣赏的，它鼓舞我继续思考。一开始，我看到这门学科承受着数学施以如此巨大的压力时，差一点被吓着了。后来，我见到它居然挺住了，真觉得有点不可思议呢②。

注：

① 即J.Bardeen（巴丁）、L.W.Cooper（库柏）和J.R.Schrieffer（施赖弗）三人所提出的超导性理论。由于这一贡献，他们分享了1972年诺贝尔物理学奖。在此之前，J.Bardeen还荣获过1956年诺贝尔物理学奖。他是唯一两度获得诺贝尔物理学奖的物理学家。译注。

② 法拉第是英国的一位自学成才的伟大实验物理学家，出身贫寒，未受过正规教育，数学不怎么好。大家认为，电场和磁场的力线，只不过是用以形象化地描述电、磁场的工具，但法拉第坚持认为，力线是一种客观存在的实体。麦克斯韦是英国一位伟大的理论物理学家，他总结并建立了完整的经典电磁学理论。今天的一切电工技术和电器，举凡发电、输电、电信、电视……，在原理上无一不有赖于麦克斯韦的电磁理论。译注。

物理学的未来(1961)

本文是作者于 1961 年 4 月 8 日在麻省理工学院成立 100 周年庆典上的小组讨论中的发言。原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁谈科学发展》, 八方文化企业公司, 1992 年。译者张美曼。

在最近的四五年里,理论物理学家将许多注意力和努力奉献在从物理可观察的经验到非物理区域的解析延拓上。特别是通过外推去研究尚未观察到的区域中的奇异性质。这种努力一开始就被重重困难所包围。然而在这个方向上工作的兴趣一直保持着。以类似的精神,今天上午我们尝试着采取一种类似的方法:通过外推,我们来看一下过去的经验以外的事情,去认识一些到目前为止尚未看到的物理学的将来的发展。在这种追索中我们不能期望得到具体的好结果,但我相信大家都会同意,这种尝试是非常有趣味的。

从各种标准来看,到目前为止 20 世纪物理学的成就是惊人的。在本世纪初,物质的原子的面貌作为一门新的研究科目刚刚出现,而今天在其研究范围的精细程度上我们进展了百万倍:从原子大小进入到亚核大小。在能量方面的进展给人印象更深:从几个电子伏特到几十亿电子伏特。实验技术的能力和精巧程度

随着物理学家探索的深入也在阔步前进。物理学中的进展给其他学科——化学、天文学甚至生物学带来的影响，其重大程度笔墨难以形容。物理学的发展对于技术的影响、对于人类事务的影响在战后的年代是如此突出，以致没有必要再在这儿做进一步的强调。

但是物理学的荣耀并不是建立在这类影响之上，物理学家最看重的也不是这些影响。甚至物理实验深入范围的不断扩大也不是物理学家感到满意和引以为自豪的主要方面。物理学家最注重的是去形成这样一些概念的可能性，从这些概念出发，用爱因斯坦(Albert Einstein)的话说[①]，一个“完整的可用的理论物理学系统”能够被构造起来。这方面的工作使物理学在智力的努力上极其独特和出类拔萃。这样的一个系统体现了普适的基本规律，“用这个系统，宇宙能用纯粹推导的方式建造起来”。

从这样一个极高的极严格的判断出发，20 世纪前 60 年在物理学方面的成就恰如一首英雄诗；在这 60 年间，在物理学的领域里不仅有大量的拓宽我们对物理世界的了解的重要发现，而且还证实了不是一个、不只两个、而是三个物理概念上的革命性的变化：狭义相对论、广义相对论和量子理论。由于这三个概念上的革命，形成了一个深刻的、完整的、统一的理论物理体系。

获得了刚过去的这段时期所留下的卓越的遗产，物理学的前景是什么？

毫无疑问，在佩尔斯(R. Peierls)教授称之为物理学的基础和第一线后面的物理学这两方面，我们的知识将会继续迅速增长。

对前者，凭我们现有的知识，我们可以很肯定地说，在以后的几年中弱作用领域中的问题将得到很大的澄清。如果运气好，我们甚至可以期望看到弱作用的各种表示的某种综合。

此外，我们对许多事尚未确切了解。诚然我们已经明确地提

出了若干问题，然而，在目前去寻求这些答案是一件既迫切又困难的事：怎样处理一个有无穷多自由度的系统？空间时间是连续的概念是否能够被外推到10^{-14}厘米至10^{-17}厘米的空间区域？或者外推到比10^{-17}厘米更小的区域？电荷共轭下的不变性和同位旋转动下的不变性的基础是什么？与空间一时间对称性不同，已经知道这两种不变性是可以被破坏的。强作用、电磁作用和弱作用统一的基础是什么？与这些有关的引力场的作用是什么？这类问题可以继续罗列下去。然而当我们在这里叙述它们时，我们不能肯定这些问题是否意义深远；事实上物理学中的许多进展是从一些以前问过的无意义的问题的真正认识中发展出来的。

然而，有一件事可以肯定，我们的知识的积累会继续迅速增长。我们只需要提醒自己，在不久前物理学的发现周期是以几十年或者几年来计算。例如，迈克尔逊—莫雷实验(Michelson-Morley experiment)在1881年首次完成，在1887年以更高的精确度重做了，为了解释否定的实验结果，在1892年菲茨杰拉德(G. F. FitzGerald)提出了收缩假设。然后在1902年洛伦兹(H. A. Lorentz)发明了洛伦兹变换，发展到顶点导致了1905年爱因斯坦狭义相对论的产生。想象一下，倘若迈克尔逊(A. A. Michelson)的第一个实验是今天做的，情况将会是怎么样！

人类对科学重要性的普遍的觉醒和人类思维在技术创造方面令人惊奇的智慧，确保了我们在实验科学方面进一步加速前进的步伐。

对于我们几分钟前所提到的“一个完整的理论物理学系统”我们应当采取什么态度？在20世纪前60年的光荣传统下，我们是否能合理地期待进一步的成功？

如果说，用外推去确定函数的奇异性是困难的，那么同样地，通过推测去预言在物理概念方面会发生什么样的革命性变化也

是困难的。由于存在无限制地相信一个“将来的基本理论”的倾向，我想发表一些悲观的意见。在这100周年的庆祝会上，整个气氛充满着对过去获得的成就的自豪、充满着对未来前景的广阔展望，在这充满着激情的气氛中插入一些不和谐的旋律也许并非完全不合适。

首先让我们再一次强调，纯粹的知识积累尽管是有趣的，对人类有益的，但与基本物理的目标十分不同。

其次，亚核物理的内容与人类直接感觉的经验已经相距很遥远，而当我们探究的空间变得更小时，这种遥远性肯定还会增加。随着加速器、探测器、计算机和实验室的规模的越来越大，我们不难找到这一点的生动证明。

今天实验由精良的设备和精确的运行构成。欲使一个实验的结果有意义，必须把概念建筑在我们直接感受的经验和实验安排之间的每一个层次上。在这儿存在一个固有的困难，概念的每一个层次是与前一个层次相联系的，是建筑在前一个层次上的。当不恰当之处表现出来时，必须更深入地去检验先前概念的整个综合体。随着对问题考虑的深入，这个任务的困难程度急剧发散开来。这很像下棋，随着棋艺的提高，在下棋时总是检验前一步，这在实践时困难会越来越大。

按照维格纳(E. P. Wigner, 1902—1995)的计算[②]，要达到现在场论的研究水平至少必须贯穿四个不同层次的概念。这个计算的细节可以讨论，但无可否认，我们所设想的、比较深入和比较完整的理论体系的结构，表现了概念的至少多于一个层次的贯穿。在这方面，物理学家面对这样一个不利条件，即理论物理的最终判断是在现实中。与数学家和艺术家不同，物理学家不能凭自由的想像去创造新的概念、构造新的理论。

第三，爱丁顿(A. S. Eddington)[③]曾经讲过一位海洋生物学

家的例子，这位生物学家用的鱼网网眼为6吋，经过仔细的长时间的研究，他得出了一个定律，即所有的鱼比6吋长。这个假想的例子十分荒谬，然而在现代物理学中我们很容易找到这种例子。由于实验的复杂性和间接性，出现了这样的情况，人们没有认识自己所做实验的选择性质。选择是建立在概念上的，而这个概念也许是不合适的。

第四，在物理学家的日常工作中很自然地隐含着这样的信念，即人类智力的威力是无限的，而自然现象的深度是有限的。这种信念是有益的，或像人们有时说的是健康的，因为从这样的信念中可以得到勇气。但是，相信自然现象的深度是有限的想法是不合逻辑的。相信人类智力的威力是无限的信念也是不正确的。一个重要的必须考虑的事实是，每个人的创造力的生理局限性和社会局限性可能比自然的局限性更为严重。

在说了这些告诫性的意见后我们必然会问，它们是否与物理学的发展有关，譬如是否与这个世纪余下的40年中的物理学的发展有关，现在我们不知道这个问题的答案，我们希望答案是否定的。

参考文献：

① A. Einstein, *Essays in Science*, Philosophical Library, New York, 1934.

② E. P. Wigner, *Proc. Amer. Phil. Soc.* 94, 422(1950).

③ A. S. Eddington, *The Philosophy of Science*, MacMillan, New York, 1939.

关于应用数学的教学和研究(1961)

本文是作者于1961年11月4日在“应用数学：在研究和教育中需要什么？”讨论会上的发言。原载美国《工业与应用数学评论》(SIAM评论)，1962年第4卷第4期。中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989年12月。译者韩秀兰。标题为编者所加。

尽管通常最后一个发言挺好，但在一次座谈会上最后一个发言显然是不占优势的。因此，如果我不得不(也许用不同的话)重复前面发言人已经阐述了的某些观点时，请大家原谅。

谈到应用数学的需要问题，我想首先需要弄懂什么是应用数学。要达到这个要求是相当困难的。作为零级近似，应用数学是介于理论物理和数学之间的科学。因此，我们来看看物理学家和数学家对介于他们各自学科之间的这一中间学科有什么看法。

首先就物理学家而言。在我们中间流传着一个故事，讲到一位物理学家向一位数学家求教的感受。一个人带着一大包脏衣服寻找洗衣店，找了很长时间没找着。当他终于发现一家店铺的窗户上写着“本店洗衣”的招牌时如释重负。他走进店铺把脏衣服放在柜台上。柜台后面的人问道：

“这是什么？”

“我想把这些衣服洗了。”

“我们这里不洗衣服。”

“但是你们窗户写着洗衣服。”

“噢，那个，我们只是弄个招牌而已。”

哈代(Hardy)在一本名叫《一位数学家的抱歉》小册子中阐述了他对于纯数学和应用数学之间的区别，它们各自的应用范畴以及它们对学者的内在的魅力。他讲道：

> 无需说我希望我不是在企图贬低数学物理，这是一门很壮丽的学科，它有许多难解的问题，对于这些难题，一些最优秀的想象已告失败。但是，一个平常的应用数学家其地位是不是有点太可怜了呢？如果他想有用，他必须做单调乏味的工作。而且不能充分发挥他的想象力，即使他希望达到那样的高度。“想象”的世界远比拙劣建立的“真实”世界更美好。一个应用数学家想象出的最优秀的成果，大部分都会由于残酷但却充分的理由，使它们刚刚产生就都因不符合实际而被放弃。

他的意思是，应用数学是枯燥无味的。在其他一些段落里他讲道，应用数学实际上不如纯数学(他有时叫做真实数学)用处大。为了避免回答令人为难的问题，他将麦克斯韦(Maxwell)和爱因斯坦(Einstein)、爱丁顿(Eddington)和狄拉克(Dirac)都包括在真实数学家的行列。

这本书是令人兴奋的。读了他有说服力的一些章句之后，我从中得到了很大乐趣。这些文章罗列了各种论据——有些是有深刻哲理的，有些只是一般的妙语——来阐明数学是一门纯艺术。

我在向你们讲这个故事以及告诉你们哈代对应用数学的看法的意思是想表明一下。在我看来，它们正好定义了应用数学应当不是那样的：应用数学不应当是哈代所认为的枯燥无味的学

科，也不应是做符号的艺术。

应用数学是一门大部分介于数学和物理之间的创造性学科。但也介于数学和其他学科之间。在这一领域里，用数学语言综合物理世界的一些现象。应用数学与理论物理之间应该只有在强调上的一个小区别，即强调从物理现象到数学公式的归纳过程与从数学公式到物理现象的演绎过程的不同而已。理论物理学家更强调归纳过程，应用数学家更强调演绎过程。一位真正好的理论物理学家实际上也应该是一位好的应用数学家，反之亦然。我相信这一观点与应用数学家的本身的观点是一致的，当然也与格林斯潘(Greenspan)教授于 1961 年 1 月美国数学学会的一次会议上，在他热烈维护应用数学这一领域的发言中所阐明的观点一致。

如果我们同意应用数学的这一特点，那么我认为，应用数学的教学和科研必须着重强调物理的实际。我们来进一步分析一下这一观点的一些理由。

我们知道，对一部计算机来说，线路系统和内部的子程序决定了它操作的基本模式。尽管具有不同线路和不同子程序的不同机器原则上能通过后加的程序做相同的工作，但它们工作的难易程度却不同。同样，一个学生所受的教育决定了他后来的思考模式、选择课题的兴趣以及面临新困难挑战时的心理和情绪反映。正如前面引用哈代的文章中所生动表明的，纯数学的训练无助于产生一种对应用数学解释物理现象的美的鉴赏力。对于一位应用数学家来说，缺乏这种鉴赏力是不幸的。

另一方面，一种倾向于物理学的训练，对于后来的吸收数学概念却不是障碍。实际上，它往往有助于进行创造性的数学思维。为什么会这样，显然是一个深奥的问题。它也许与究竟为什么非得用公式才能解决物理现象这个问题有关，也可能与有多少

数学概念实际上来源于物理现象这个问题有关。不过，无论在哪种情况下，它都是一个连数学家自己都承认的自明之理。例如，哈德马德（Hadamard）在他的《数学领域的发明心理学》一书中讲道，一般来说，物理解释是数学创造的一个可靠的指导，而且经常为他扮演这一角色。

当然，我并不是说每个物理学家都可以学习成为一名数学家，而反过来却不成。但是，如果有一位很有才能的学生，想把他训练成为一名应用数学家，那么，我认为，在他被更为偏激的，较少回旋的，重于想象的数学形式惯坏以前，让他先接受一些物理学家的情趣和训练是有益的。

从历史上来看，特别是本世纪以前，物理学已经是新数学思想的重要来源。傅里叶（Fourier）在1822年曾说过：

> 对自然界的深入研究是数学发现的最富饶的源泉。在为调查提供一个明确目标时，这一研究不仅无疑具有排除模糊问题和无用的计算的优点，也是形成自行分析，发现我们需要去了解的因素和哪种自然科学应该保留的可靠方法。这些是在所有自然效应中都会出现的基本因素。

但是，也许大家认为傅里叶太古老了，也许认为他不足以算是一位纯数学家，因而他的话不值得去听。那么我们来听听赫尔曼·韦耳（Hermann·Weyl）是怎么说的。他可是一位地道的数学家。他在一篇名为"相对论作为数学研究的一个促进因素"的文章中写道：

> 相对论问题是贯穿几何学和代数学的中心思想之一，这一观点早已被数学家所承认。……就我来说，我可以说，想了解相对论形式上的结构背后真正的数学实质是什么的愿望，导致我去研究群的表示和不变式。我在这方面的经验可能不是绝无仅

有的。

进一步说，韦耳研究的群的表示已经很快对现代原子物理的发展产生了深刻影响。

这个例子极好地说明了来源于物理思想的一种创造性数学思维所产生的丰硕成果，将物理学的思想上升到抽象的高度，又回过来丰富物理学的发展。我认为，如果应用数学研究要继续成为一种动态领域，就必须提出自己新的问题，并且必须在无限和壮观的物理实际中寻找自己的新概念。

参考文献：

1. G. H. Hardy, *A Mathematician's Apology*, pp. 74—75, Cambridge Univ. Press. (1940)

2. H. P. Greenspan, *Applied Mathematics as a Science*, Am. Math. Monthly, 68, pp. 872～880. (1961)

3. J. Hadamard, *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton Univ. Press, p. 52. (1945)

4. J. B. Fourier, The *Analytic Theory of Aeat*, Cambridge Univ. Press, 1878. (English translation)

5. H. Weyl, Proc. Am. Phil, Soc. 93, p. 535. (1949)

* * *

〔讨　论〕

杨振宁教授：我很少到中学去或接触中学生，但几年前却有一次机会与中学生座谈，那次座谈的结果对我很有启发。也许向你们汇报这一情况并不完全是离题。我住在普林斯顿，那里有一所很好的中学。两年前，这所学校的一群高中生组织了一个物理俱乐部。这群学生显然很聪明，对自然科学有兴趣。他们请来了

普林斯顿的许多物理学家，要求我们是否能花些时间指导他们学习物理。我们很多人都说可以，于是他们组织了一次讨论会，讨论这个俱乐部成员应该怎样开展活动，以及活动的题材。我们去参加了，我记得还有惠勒(Wheeler)和怀特(White)。讨论会上，俱乐部里的一个男孩站起来说："下半年我打算学习以下课题。"接着他在黑板上写了一大串题目，从力学到电学、电磁理论、量子力学、热力学、核物理、量子电动力学、基本粒子等等。对此我们感到十分吃惊，并且努力劝告这个男孩，学习没有捷径，囫囵吞枣地学习很多名词术语而不了解它们的全貌是无益的，实际上是有害的。结果表明这种说服工作很不易。我束手无策，也不知道这种现象是怎样泛滥的。我猜测，随着大众对自然科学的普遍兴趣，和近来对自然科学的强调，特别是物理学，有才能的中学生可能学到了许多学术名词而没有询问它们的内涵。这种想匆忙肤浅地吞咽知识、想学会许多东西但不学这些东西的实质的态度是一种传染很快的疾病。

格林伯格(Greenberg)博士：杨教授是否能就这一点谈谈自己的看法？因为我知道他最近作了大量的计算，而且基本上是个人做的，他自己感到很成功。

杨振宁教授：好。我不知怎样概括这个问题，但是，正如凯里尔(Carrier)教授所说的，这很大程度上有赖于问题本身，也有赖于调查者和编制程序设计者。我个人的经验是，如果你将这个处于消化状态的问题交给编制程序设计者，过一会儿你就会担心(至少我很担心)产生的数字和所给问题之间的联系是不是准确。

格林伯格博士：这里还有个问题我乐于转达给杨教授。问题是：如果早期在数学方面的训练使学生不屑于搞应用，那么物理学家是不是也教他们的学生鄙视工程应用？我对此稍加概括，就是说，是不是物理学家对数学家和工程师往往有一种固有的蔑

视? 为什么? 他们知不知道有关傅里叶和其他人的事情?

杨振宁教授: 恐怕我的回答不能代表所有的物理学家，但我很深深地怀疑有这么多心胸狭窄以致于看不起纯数学家或工程师的物理学家。在我所接触的物理学家中，没有发现这样的例子。我认为，根据其所受训练的性质，一位物理学家不但要学习尊重纯智力要求的学术问题，也要学习尊重实际问题。如果不幸某些物理学家给人留下了格林伯格博士所说的现象，那么我马上与这种现象脱离。

格林伯格博士: 在座的先生们有谁愿意最后发表些记录在案的意见纠正错误印象?

杨振宁教授: 我来告诉你们我听到的关于量子力学发展的故事，这与使一个人成为一名优秀的应用数学家需要教给他多少数学知识的问题不无关系。大约在 1924—1925 年间，那时很明显，一些新的力学会很快发展起来。实际上那时已反复指出能级，如氢原子的能级，可能被看成是某个算子的特征值。你们知道，哥廷根(Göttingen)是研究这一问题的中心。他们花了大量的努力试图找到可提供这一正确特征值的算子。无需说，所有这些努力都是徒劳的。最后，发生的是从物理学的观点写出了一个算子方程式，一位物理学家解出了这个算子方程式并准确地提供了所要的特征值。对人类思维来说，预测大自然所钟爱的正确组合似乎是很难的。我认为，为了预测大自然给一个人提供所有数学工具的条件可能是徒劳无益的。正如库朗特(Courant)教授所强调的，重要的是看法，而不是这样或那样具体的数学知识。

格林伯格博士: 好了，我想我们会得出结论。我代表我们全体衷心感谢这次讨论会的参加者今天上午到会。

悼念马仕俊博士(1962)

原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 作者是李政道与杨振宁,写于1962年春。中译文载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年12月。译者甘幼玶、黄得勋。

马仕俊博士于1962年1月27日在澳大利亚悉尼市逝世。他过早地离开人间的噩耗对他的物理学界的同事和朋友是一大打击。深知他的为人的朋友们,更感到无限悲痛。

马先生1913年生于北京。1935年他在北京大学获理学士学位。吴大猷教授是他的老师之一,并指导他写了第一篇发表了的论文(1935年),该文论述对氦原子某些受激态的一些计算。1937年他在一次全国性竞赛中获胜,得到留英奖学金,去英国剑桥大学,成为海特勒(W. Heitler)的学生。在那里的四年中,他研究介子理论,于1941年获博士学位。

随后他回到战时的中国,在昆明国立西南联大执教。他是一位极其认真的老师,讲稿准备得非常整齐。我们两人曾在不同时期(1941—1943和1945)听过他的课。杨振宁清楚地记得1943年春曾从马先生开设的课程中学习过场论。他的讲课既清楚、又有条理,而且范围广泛。今天我们回想那时的教室,既无暖气,又无御寒设备、窗户被常有的空袭震碎,泥地由于使用过度而到处

凹陷不平。想起这些，我们仿佛仍然可以看到年轻、瘦削、腼腆的马先生站在黑板前，振臂疾书。我们再一次认识到，默然诚意的努力可以战胜物质上的欠缺。

1946年马先生来到普林斯顿高级研究所。其时，海森堡(W. Heisenberg)的S—矩阵理论对物理学的重要影响刚刚开始。S—矩阵的著名的多余零点就是马先生在普林斯顿期间发现的。1947年马先生前往爱尔兰，加入都伯林高级研究所。1949年他在该院指出费米(E. Fermi)处理量子电动力学方法的一个困难，导致一年后古普塔—布劳勒(Gupta—Bleuler)方法的产生。

1949至1951年和1951至1953年，马先生分别在芝加哥大学和加拿大渥太华的国立研究所工作。1953年美国好几个单位向他发出邀请。虽然他的妻子是美国人，他却全拒绝了，主要因为他不愿意面对美国移民局对待东方人所采取的敌视的、有时甚至带侮辱性的态度。他接受了澳大利亚悉尼大学的职位。在随后数年里，美国的大学一再邀请他，但他都因为同样的理由拒绝了。

马先生一直从事场论的研究，总共发表了约40篇论文。他的论著简洁明了，实实在在，没有半点矫揉造作，从中可以洞悉他的人格和他的一生。

和李政道的最后的合作

——《荷电矢量介子》(1962)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[62i]〈与电磁场有互作用的荷电矢量介子的理论〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1960年,李政道和我决定系统地研究与电磁场有互作用的带电矢量介子的理论。我们的论文[60d]及[61e]刺激了这方面的研究。上述两文作了低阶的计算。我们知道,荷电矢量介子还未从理论上系统地研究过,所以决定深入研究这个人们尚未搞清的混乱问题。从正则的形式体系出发,遵循一般的Dyson—Wick程序,我们求得了费曼图。所得的结果很复杂。更糟的是,它们的系数不是相对论协变的。经过几番周折之后,我决定在拉格朗日里加上下面一项:

$$-\xi\frac{\partial\phi_{\mu}^{*}\partial\phi_{\nu}}{\partial\chi_{\mu}^{*}\partial\chi_{\nu}} \tag{1}$$

其中时间、空间的指标1,2,3,4被等同地对待。这样一来,就消除了引起麻烦的$\delta^4(0)$项。事实上,这样一来,在$\xi\to 0$的极限过程中,$\delta^4(0)$项的来源就变成可以理解了。对这一点,这篇论文的

附录 E 有所解释。

在这个问题上，吴大峻有一个很好的建议，那就是，式(1)的 ξ 项应该是电磁规范不变的。李政道和我接受了这条建议。

于是，费曼图变成协变的了，而且不再包含 $\delta^4(0)$的项。不过，它仍然是不可重整化的。随后，李政道建议引进一种负的度规，这样一来，我们的理论就可重整化(在 1950 年代讨论李政道模型时，李就对负度规感兴趣了)。

我们把这样得到的理论叫做 ξ 极限理论，在[62i]中有所讨论。后来，在规范理论的文章中用上了这种 ξ 极限理论。

ξ 极限理论有一种非常有趣的性质，那就是在 $\xi\rightarrow o$ 的极限过程中，有希望通过对最发散项求和的办法求得有限的结果。李政道在《物理评论》杂志紧接着这篇论文之后的另一篇论文中对此作了探讨。

[62i]是李政道同我合作的最后一篇论文。

我们的交往始于 1946 年。这种交往曾经是亲密的，它基于相互尊重、相互信任和相互关心。接着，迎来了 1957 年，以及我们的成功。不幸的是，蒸蒸日上的声望逐渐在我们的关系中打进了原先没有的一些新楔子。虽然，我们富有成果的合作还继续保持了 5 年，但是，关系却慢慢紧张起来。1962 年 4 月 18 日，我俩在李政道的办公室里做了一次长谈，回顾了 1946 年以来发生过的事情：我们早年的关系；1950 年代初；导致写出宇称论文的 1956 年的那些事件，以及随后的发展。我们发现，除了一些细节之外，我们对所有关键的事件都保持着相同的记忆。正如家庭冲突中的和解那样，这是一次感情获得宣泄的经历，我们都感到一种解脱般的畅快。然而，这种和解并没有得以保持下来。几个月后，我们就永远地分手了。

在我同李政道做朋友的 16 年间，我对他就像一位兄长。在

粒子物理和统计力学领域里，我在1950年代初就已经成了名。我们的合作关系中，我是资深的一方。敏锐地警觉到不应该挡住他的道，我便有意识地往后靠，尽量在事业上扶持他，同时，在公开场合对我们合作关系的实质严格地保持缄默。外人看来，我们的合作是密切而出色的；这种合作对物理学的贡献良多。人们对此感到艳羡。李政道自己也断言，这种合作对他的事业和成长具有决定性的影响。

总之，这是我一生中值得回味的一个篇章。是的，其中也有烦恼。然而，世间万事万物中，与人际关系有关而有意义的事情，又有几件是完全没有创痛的呢！

弱相互作用评述

——在美国东部理论物理会上的演讲(1963)

本文原载 Proceedings of the Eastern Theoretical Physics Conference, Ed. M. E. Rose, New York: Gordon & Breach, 1963. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年12月。译者李学潜。

原先预订好的演讲者布维马克夫(Primakoff)博士因病不能出席,虽然我来开会前并未准备,但我将对弱相互作用讲几点。

1. 两种中微子。

哥伦比亚—布鲁克海文组做的试验①证明了与 μ 介子相联系的中微子 υ_μ 是不同于与电子相联系的 υ_e 的。这种结论能在定量基础上描述。在反应

$$\upsilon + n \to p + e^- \tag{1}$$

中,n-p 部分可用三个形式因子 g_v、f_v、与 g_A 描绘。这三个中的前两个是类似于核子的电磁形式因子(电荷与磁形式因子之和)的同位旋矢量部分,这些形式因子是由电子散射试验得到的。如果我们取比例流假定,那么仅有 g_A 是不知道的形式因子。现在,在射束包括(基本上)50%的 υ 和 50%的 $\bar{\upsilon}$ 的试验中,g_A 部分的贡献②是正比于 g_A^2 的,而且是正的。于是不管 g_A 如何,仅比例流假定即可引到过程(1)的最小比率。从哥伦比亚—布鲁克海文

实验，人们能得到结论，如果 υ_e 和 υ_μ 一样，那么应该已经有十多个高能电子的事件。不存在任何这种事件，因而是很有力地证明。

$$\upsilon_\mu \neq \upsilon_e \tag{2}$$

从 β 衰变的数据，υ_e 的质量已知应小于 $10^{-3} m_e$。υ_μ 的质量已知为小于或等于 3.5MeV。现在 π 和 μ 介子的质量都已知道得很精确了。人们要问为什么 υ_μ 的质量不是精确地用反应

$$\pi^+ \to \mu^+ + \upsilon_\mu \tag{3}$$

来确定。回答是很简单的。反应(3)中的 υ 具有大约 30MeV/c 的动量。了解这样一个粒子具有质量为 0 或 3MeV 是非常困难的。

上面的讨论很明显指出，要确定 υ_μ 的小质量，最好选择 υ 动量小的过程，例如几个 MeV/c。这儿给出两个例子：

$$K^+ \to \mu^+ + \pi^0 + \upsilon \tag{4}$$

$$\pi^+ \to \gamma + \mu^+ + \upsilon \tag{5}$$

如果我们研究式(4)中 μ 谱的上端或(5)中 υ 谱的上端，那儿的 υ 的动量是小的。关于应用(5)去确定 υ_μ 质量的可行性计算是戈德哈伯(Goldhaber)做的。

2. 从今后中微子诱导的反应的试验中能学到些什么。

可以期望在 1963 年能够进一步做高能中微子的实验。对于类型(1)的反应，实验能给出关于形式因子 g_A 的信息。能从这些实验中得到的其他具有理论上兴趣的东西在文献中已经讨论过了[④]。事实上，如果中间玻色子 W^+ 存在，具有质量≤1GeV，那么这些实验将通过过程

$$\upsilon + Z \to Z + W^+ + \mu^-$$

$$\overline{\upsilon}+Z\to Z+W^{-}+\mu \tag{6}$$

电磁地产生它们。这些过程的截面很敏感地依赖 W 的质量 m_w 和 W 的磁矩，特别是前者。W 的质量和磁矩大概能从不同的入射中微子谱的反应(6)的实验截面来确定。如果对探测的方法给予特殊的考虑，则可能通过测量 W 的衰变产物来确定 m_w，例如

$$W^{\pm}\to\pi^{+}+\pi^{-} \tag{7}$$

3．弱相互作用机制。

关于存在 $\Delta Q=-\Delta S$ 弱相互作用的实验证据已经有三篇发表了的工作[⑥]。例如，已经报告过这样的反应

$$K^{0}\to\pi^{+}+\mu^{-}+\upsilon_{\mu}^{-} \tag{8}$$

发生了。由于现代流行的反对 $\Delta Q=-\Delta S$ 型弱相互作用的偏见，这些实验证据的有效性并未被普遍地接受。我了解许多要解决这个问题的新实验正在进行。

如果类型(8)的反应被证实确实存在，平衡两边的 I_z 值，我们就能导致 $|\Delta I|=3/2$ 的弱相互作用存在的结论。如果我们不再希望引入带两个电荷的 W^{++}，我们就得放弃弱相互作用 Schizon 机制的可能性(在 Schizon 机制中，W 对奇异数守恒的弱流 J 和奇异数不守恒的弱流 S 的耦合却是同位旋守恒的，但是在 JW 和 SW 的耦合中 W 有不同的同位旋)。尽管没有不自洽产生，弱相互作用的机制就变得很复杂了。关于这个问题的讨论，我建议你们去看文献[⑧]，并强调对我来讲 $\Delta Q=-\Delta S$ 弱相互作用的存在或不存在的实验结果具有最重大的概念上的重要性。

参考文献：

① G. Danby, J—M. Gaillard, K. Goulianos, L. M. Lederman, N. Mistry,

M. Schwartz and J. Steinberger. *Phys. Rev. Letters* 9 36 (1962).

② 这显然取自 Eq. (42) of T. D. Lee and C. N. Yang. *Phys. Rev.* 126, 2239(1962).

③ W. H. Barkas, W. Birnbaum and F. M. Smith. *Phys. Rev.* 101, 778 (1956).

④ T. D. Lee and C. N. Yang. *Phys. Rev. Letters* 4, 307(1960); *Phys. Rev.* 126, 2239(1962).

⑤ T. D. Lee, P. Markstein and C. N. Yang. *Phys. Rev. Letters* 7, 429 (1961).

⑥ R. P. Ely et al., *Phys. Rev. Letters* 8, 132(1962); A. Barbaro—Galtieri et al., *Phys. Rev. Letters* 9, 29(1962); G. Alexander et al., *Phys. Rev. Letters* 9, 69(1962).

⑦ T. D. Lee and C. N. Yang. *Phys. Rev.* 119, 1410(1960).

⑧ R. E. Behrends and A. Sirlin. *Phys. Rev. Letters* 5, 476(1960); T. D. Lee. *Phys. Rev. Letters* 9, 319(1962); G. Takeda. *Ann Phys.* 18, 310(1962).

计算机与高能物理(1963)

本文是作者于 1963 年 12 月在“大规模物理问题 IBM 科学计算专题讨论会”上的演讲。原载 Proceedings of the IBM Scientific Computing Symposium on Large Scale Problems in Physics, December 1963, IBM, 1964. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989 年 12 月。译者李学潜。

高能物理学是研究发生于 10^{-13} 厘米或更小的距离内的现象的学术领域。目前,它基本上还是一个实验的课题,也就是说,还缺乏可以接受的理论上的理解或综合。高能物理学中的活动可以分为三个领域。第一个领域,是建造加速器来产生粒子,从而研究小距离现象(由于测不准关系,高能与小距离是彼此相关的)。第二个领域,人们用这些高能粒子来做实验。在第三个领域,人们试图去理解如此取得的实验信息,从而如果可能的话,建议新的实验。

在所有这些领域中,都要使用高速计算机。关于第一个领域——建造和设计加速器——我们将要从恩乃斯特·库朗特(Ernest Courant)教授那儿听到更详细的介绍。我就讨论一下在另外两个领域中使用高速计算机的几个例子。

去年一个非常成功的试验是关于质子与质子或者 π 介子与质子的弹性散射:

$$p + p \to p + p$$
$$\pi + p \to \pi + p$$

这个实验是由林敦巴姆(Lindenbaum)和袁(Yuan)以及他们的合作者在布鲁克海文(Brookhaven)国家实验室完成的。这些反应具有根本重要的意义,对了解能量与角动量依赖性它也是最基本的。计数器记下了入射粒子及被散射的粒子,而进行快速计算去排除那些不需要的事例。关于有用事例的信息被存储在缓冲记忆器中。由于加速器是以短脉冲的方式产生高能粒子的,这些脉冲间隔几秒时间,那么这段时间就用来把缓冲记忆器中的信息传到计算机中去处理。

实验中的难点在于缓冲记忆的容量小,对加速器的每次脉冲,它仅能容纳32个事例。每个事例包括96个信息。但是,纵使有这些限制,这个实验的结果在统计上已大大优于以前的实验结果了,这使得它解决了近年来讨论得最多的问题。

很明显,在将来,下述三个因素的结合,大概会导致更频繁地使用实验装置与计算机的线内连接:

首先,加速器的束流强度会变得越来越高。

其次,极稀有事件会越来越重要。分析这些事件可以或多或少地了解物理过程大致的特性,进而提出关键性的问题。换句话说,人们必须从很大的本底中把很少的有用事例选择出来。为了使这种选择更有效,用高速计算机来做线内计算乃是根本的手段。

第三,高能加速器将变得越来越昂贵,加速器使用时间就十分珍贵。为了不浪费宝贵的时间,那么从实验设备到实验者的快速反馈就变得很重要了。这种反馈过程必须使用高速计算机。

计算机在高能物理中的另一个重要的新应用是气泡室图像的数据还原。这些图像包括在随机气泡本底上很清楚地确定了

的泡径。本底泡的总数通常仅是径迹上泡数的一小部分。分析这些图像时有两个问题:(1)判别这些径迹的确是径迹。(2)测量这些径迹的位置、方向及曲率。由于每个高能加速器一年能产生数百万个图像,因而必须具有以相应速度处理这些图像的方法。概言之,目前有三种不同的方法进行气泡室处理。它们是分别在伯克利、布鲁克海文及麻省理工学院进行的。所有这些方案都围绕着径迹测量问题。只有麻省理工学院的建议试图自动识别径迹。当然,所有这些都应用了高速计算机。

使用高速计算机的第三个例子是三年前在伯克利做的一个重要试验,质子和一个反质子湮灭,然后产生出许多介子。在众多的气泡室图像中,那些选出的图像代表以下过程:

$$\bar{p}+p\rightarrow\pi^{+}+\pi^{+}+\pi^{-}+\pi^{-}+\pi^{0}$$

这里提出了一个问题,是否在一个极短的瞬间所产生的五个介子中的三个,做为一个单个客体或曰"共振态"而存在,然后再分解为三个介子。如果真是如此,那么在三个 π 介子的质心系里,这三个粒子的总能量是这共振态的质量,因而在所有的产生这共振态的图像中都必须是一个常数。进行了 π 介子动量的详细分析,也计算了不同的三个介子的系列的质心系总能量。在相当多的情况下,发现产生了一种共振态,并延续了一段时间。要达到这样的结论,人们必须做大量的运动学计算;这已靠计算机做到了。这样找到的共振态就是"ω 介子",它在高能物理学中扮演了一个重要的角色。当我们回顾 ω 介子的引人注意的发现时,似乎很明显,如果不使用计算机,这个粒子大概不会在 1961 年被发现。

在实验高能物理中使用计算机进行数据处理,还有许多别的例子。例如,由于角动量守恒,散射实验中大量复杂的信息,能简

化成几个可用于理论解释的简洁内在的物理量。这些物理量称为“相移”。大量的计算机机时被用于由实验数据计算相移。我相信，被处理过的相移的最大数目是 14 个。从数百个实验数据中确定以各种复杂方式与之相关的 14 个参数值必须用高速计算机。这类把数据约化到基本参数的另一个例子是在斯坦福、康奈尔、巴黎及剑桥做的电子散射实验。这些实验是用电子测量质子或原子核周围的电磁场分布。在这种情形下，由于相对论不变性及很小的精细结构常数，实验数据可被约化成一组“形式因子”。

下面，我们考虑一下计算机在高能物理理论研究中的应用，最明显的例子是估算一些多重积分，这些多重积分包含在最近关于弱相互作用是否是由称为 W 的中介粒子(对弱粒子)来传递的讨论之中。为了研究这个问题，在日内瓦、布鲁克海文以及阿贡做了许多重要的实验，在如下的过程中

$$\nu + 原子核 \to \mu + W + 原子核$$

寻找 W 产生的征兆。

原则上讲，如果 W 真的存在，则理论上估算这种过程的几率是不困难的。但是要估算一个很长的被积函数的四重积分。而另一个与过程：

$$\nu + 原子核 \to \mu + \mu + \nu + 原子核$$

的有关问题要求一个七重积分。过去三年中，许多研究中心都成功地进行了这些计算。

计算机在理论高能物理中应用的另一些例子，有求解积分微分方程，进行粒子集合统计行为的蒙特卡罗计算等等。很难估计用于高能物理中这种理论研究的总机时，但是它一定远远少于实验家所用的机时。

最后，我们总结一下，问题是计算机在高能物理中的作用是

不是具有重要意义。有三件事可以说明这点：

第一，计算机在实验高能物理中很明显是绝对不可缺少的。由于要从更大的本底中选出大量的数据，没有计算机是不可能做到这点的。

第二，在理论高能物理学中计算机一直是很有用的，但它还未曾真正地帮助理论家们做出任何深入的意义重大的进展。这不是计算机的过错。在高能物理研究的现阶段，人们还在摸索新的物理概念，表述问题的新物理量以及新的数学语言。计算机不可能提供对这些根本性问题的回答。

第三，正如刚刚指出的，高能物理学中将来的工作大量是探索性的。人们要尝试各种可能性。在这种努力中，非常需要更高速的计算机。同时也要求尽快实现计算机与理论家间的双向对话机，以便使建立新的各种可能的理论探索的公式化体系变得容易起来。

贺奥本海默 60 寿辰(1964)

本文是作者于 1964 年 4 月为美国《近代物理评论》写的一篇文章。原载美国《近代物理评论》,Reviews of Modern Physics, Vol. 36, 1964. 作者:Freeman Dyson、Abraham Pais、Bengt Stromgren、杨振宁。中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989 年 12 月。译者白世民。

J. 罗伯特·奥本海默(J. Robert Oppenheimer)1904 年 4 月 22 日生于纽约市。他于 1925 年从哈佛大学(Harvard)毕业,1927 年在哥廷根(Göttingen)获博士学位。此后两年他在哈佛大学、加利福尼亚工学院(the California Institute of Technology)、莱顿(Leiden)和苏黎世(Zürich)各工作过一段时间。1929 年起他同时在加利福尼亚工学院和伯克利(Berkeley)的加利福尼亚大学任职。除了战时的 1943 年至 1945 年担任洛斯阿拉莫斯科学实验室(the Los Alamos Scientific Laboratory)的主任外,一直到 1947 年他都在上述两处任职。1947 年以后他一直担任普林斯顿高等学术研究所(the Iustitute for Advanced Study in Princeton)的主任。

奥本海默在物理领域中从天体物理和分子物理到量子场论都做了大量研究工作。他的贡献包括许多对物理学的发展具有深远影响和具有永恒价值的工作。他与玻恩(Born)一起为分子

的量子理论奠定了基础。他对原子过程的认识作出了贡献。他在建立正电子概念、反质子概念,阐明π^{0}介子在宇宙线中的作用等方面起过先驱作用。他对量子场论的发展,特别是真空极化及重整化问题,给予巨大影响。〔他的较重要的贡献的详细记载可在1963年4月美国原子能委员会发布的文件中找到,重印于1963年6月的《今日物理》(Physics Today)中〕

奥本海默理解新问题之迅速具有传奇色彩。近20年间,他的兴趣越来越广泛,不论是否属于物理领域。而且他一直关注世界范围内高能物理实验室所提出的大量实验和理论问题并给出敏锐的评价。现在,他一如既往,仍热心于基本粒子的深入认识。像其他真正的科学家一样,他对问题细节具有永不满足的兴趣。

奥本海默在使美国理论物理学走向成熟方面起了举足轻重的作用。早在20年代,当他和I.I.拉比(I.I.Rabi)作为青年物理学家在欧洲作研究工作时,他们就讨论过如何使美国在物理学上达到与其国力和国家发展相适应的水平。战前10年,他做了大量工作来充分实现他的理想。他指导并鼓励那些年轻的美国物理学家,几乎他们所有的人,都曾不止一次去过加利福尼亚同他一起工作,并跟随他来往伯克利和帕萨第那(Pasadena)之间。

1947年后他来到普林斯顿,创立和指导了高等学术研究所的新的理论物理中心。多年来它为来自世界各地的大批物理学家提供了一个适宜的会聚场所和活跃的学术气氛。近来它的这种形式倍受喜爱,广泛流传。奥本海默的远见卓识促进了这一团体的形成,而他与这一团体活动的不断相互影响又使他对物理学的兴趣长久不衰。

奥本海默以他的献身精神杰出地、卓有成效地在他的重要职位上为美国政府工作了12年。战时他领导了洛斯阿拉莫斯实验室的复杂庞大的行动计划,这导致了第一颗原子弹的研制成功。

他是著名的 Acheson-Lieienthal 报告的主要作者。国家授予他功绩奖章(1946 年)和费米奖(1963 年)以感谢他的杰出贡献。

除了他的科学论著外,奥本海默还为公众写了大量的书和文章。他用优美而富有说服力的语言向大众讲解深奥的科学新发现。他以深刻的洞察力敏锐地分析了科学与社会,人与知识之间的相互影响等他深深关注的问题。对他的著作不能浅尝辄止,优雅、富有韵律、文体之丰富都表现在他的著作中。他的著作以难以置信的完美和丰富的资料,揭示出人类在科学时代所面临的多种多样的复杂问题。

1964 年 4 月 22 日是奥本海默的 60 寿辰。借此机会谨将本期的《近代物理评论》奉献给他。本期的所有文章的作者和我们一起衷心祝愿他在今后富有成效的岁月中继续领导物理学家们前进,继续为物理学贡献他的远见卓识,继续为人类贡献出他的全部智慧。

中国根和美国籍

——《临界点》(1964)一文的后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985年12月。译者甘幼玶、黄得勋。原标题为《[64e]〈液—汽相变的临界点〉一文之后记》。本标题为编者所加。

(此后记之第一段讨论一些物理发展。兹略去。)

1964年春，我入了美国籍。

从1945至1964年，我在美国已经生活了19年，包括了我成年的大部分时光。然而，决定申请入美国籍并不容易。我猜想，从大多数国家来的许多移民也都有同类问题。但是对一个在中国传统文化里成长的人，作这样的决定尤其不容易。一方面，传统的中国文化根本就没有长期离开中国移居他国的观念。迁居别国曾一度被认为是彻底的背叛。另一方面，中国有过辉煌灿烂的文化。她近100多年来所蒙受的屈辱和剥削在每一个中国人的心灵中都留下了极深的烙印。任何一个中国人都难以忘却这100多年的历史。我父亲在1973年故去之前一直在北京和上海当数学教授。他曾在芝加哥大学获得博士学位。他游历甚广。但我知道，直到临终前，对于我的放弃故国，他在心底里的一角始

终没有宽恕过我。

不仅如此,我渐渐知道了华人在美国的早期经历。那是我们的历史,是浸透了难以用言语形容的偏见、迫害和杀戮的历史。贝蒂·李·宋(Betty Lee Sung)将这一段历史归纳如下:

> 1878年,特拉基(Truckee)镇的中国人全部被集中起来,赶了出镇。
>
> 1885年,28名华人在怀俄明(Wyoming)州石泉(Rock Springs)镇被无耻屠杀。还有许多人受伤,数以百计的人被驱离家园。
>
> 1886年,俄勒冈(Oregon)州的木屋(Log Cabin)镇又发生一起野蛮的屠杀。
>
> 玛丽·柯立芝(Mary Coolidge)教授写道:"在克尔尼主义(Kearneyism)年代美国居然还有华人活着,这真是个奇迹。"①

接着,又产生了1892年的吉芮(Geary)法和1904、1911、1912、1913及1924年的排华法。这些法律使得在美国的华人社区变成畸型的、与美国社会隔离的、受鄙视的、被剥削的独身男子劳工队伍。我1945年来到美国的时候,情形依然如此。

60年代初的一天晚上,我在去布鲁克海文(Brookhaven)实验室的途中乘火车从纽约去帕巧格(Patchogue)。夜已经很深了,摇摇晃晃的车厢内空荡荡的。一位老人坐在我身后,我便和他搭起话来。他是浙江人,大约生于1890年前后,旅美已经50余年,有时以洗衣为业,有时给餐馆洗碗碟。他没有结过婚,总是一个人孤零零地住在一间屋子里面。他对人显然十分友善。我心里想,难道这意味着他没有痛与恨?车到贝肖(Bayshore),老人蹒跚地顺着灯光惨淡的过道走到车尾,颤巍巍地下了车。看着他那被岁月压弯了的脊背,我心里充满了悲哀和愤怒。

歧视虽然不似早年那样猖獗，但时至今日仍然存在。1954年底，我的妻子和我交付了数百元作为在普林斯顿(Princeton)附近一个住宅区内定购一所新房子的保证金。几周后业主通知说，他必须把保证金退还我们，因为他耽心我们是中国人可能会对他出售住宅不利。我们怒不可遏，去找了律师。律师却劝我们不要起诉，因为他认为我们胜诉的机会是零。

诚然，有不少因素使我裹足不前。可是我也知道，美国社会对我很宽待。我来美国时是根基很好的学生，是这个社会给了我发挥潜力的机会，我知道世界上没有别的国家对移民如此宽待。我也认识到，我在这儿的根几乎在不知不觉之中就已经往深处扎了。

1961年元月，我在电视里观看肯尼迪就职典礼。罗伯特·弗罗斯特(Robert Frost)应肯尼迪的邀请上台朗诵他的一首诗。他选了《彻底的礼物》(*The Gift Outright*)。当我听到：

> 占有我们尚不为之占有的，
> 被已不再占有的所占有。
> 我们所保留的使我们虚弱
> 直到发现正是我们自己
> 我们拒绝给与我们生活的土地，
> 于是在投降中得到了新生。

似乎什么东西一直触到了我的心灵。后来在一本集子里我找到了弗罗斯特的这首诗。它确实很美，很有力量。它在我申请入美国籍的决心里起了一些作用。

注：

① B.L.宋，《金山》(纽约：Macmillan，1967)，第44页。

我和吴大峻合作的第一篇论文

——《唯象分析》(1964)一文的后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年 9 月。译者黄健。原标题为《[64f]〈K^0和$\overline{K}^0$衰变中 CP 不变性破坏的唯象分析〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1964 年夏，我和吴大峻一起访问了布鲁克海文，我们得悉普林斯顿大学的研究小组此刻正好找到 K^0 和 $\overline{K}^0$ 衰变时 CP 破坏的迹象。这一消息使整个物理学界感到震惊。因为自 1957 年以来，物理学界人人都对 CP 守恒深信不疑。许多物理学家都力图保存尽可能多的对称。

K^0—$\overline{K}^0$ 是由盖尔曼和 A. Pais(佩斯)从理论上首先提出来讨论的奇特的系统。他们预言它将有两种寿命，这一预言在 1956 年已由 K. Lande、E. T. Booth、J. Impeduglia、莱德曼和 W. Chinowsky 在一次极为成功的实验中得到证实。即使在此之前，A. Pais 和 O. Piccioni(彼斯奥尼)就已指出，长寿命的 K^0 在穿透物质时将部分地转变成短寿命的 K^0。后来，M. L. Good 证明了这一再生现象中有一相干部分。这一现象使人联想到晶体中的双折射，这种现象早在一个世纪以前就由哈密顿(W. R.

Hamilton)成功地研究过。再生现象曾在1961年由R.H.Good、R.P.Masten、F.Muller、O.Piccioni、W.M.Powell、H.S.White、W.B.Fowler和R.W.Birge证实。物理学家之所以对$K^0—\overline{K}^0$系统如此着迷，是因为它既复杂又雅致，也因为它为我们观察自然界的相互作用的细节提供了一扇窗户。然而，大家对1964年的冲击却毫无思想准备。

普林斯顿实验小组所完成的实验是不可思议而又极其漂亮的。工作人员反复练习如何在2万多个事例中鉴别出几十个来，从而推断出一个极为重要的结论：CP并不守恒。他们进一步从这些事件中估算出不守恒的程度。他们估算的数值经受住了随后许许多多实验的考验，再一次证实了他们在做实验方面的可靠性；而在做此实验之前，他们就已经以实验数据准确可靠而著称于世了。

普林斯顿实验组意外新发现的消息像野火般迅速传播。几个星期里，看来每一个理论物理学家都在推究CP破坏的起源。我和吴大峻对此持谨慎的态度，决定只做一些$K^0—\overline{K}^0$衰变的唯象分析。尽管多年以前我与李政道、R.Oehme(欧文)在论文[57e]中已经在C、P和T全都不必守恒的普遍假设下讨论过这种衰变，可是那次讨论太一般化了，以致不能用来分析眼下的新发现，也不能用来提出新的实验建议。

乍看起来，似乎参数太多，以致无法进行唯象分析。然而，我们很快就发现事实并非如此。我们的分析发表时就成了论文[64f]。我们定义了实验上有兴趣的参数，并用六个方程把它们联系了起来。这为分析随后为$K^0—\overline{K}^0$衰变有关的实验提供了一个框架。

这是我同吴大峻合作的第一篇论文。1954年我们在哈佛大学初次见面，那时我到哈佛去参加一个讨论会。然而，只是在

1956年夏我们才真正坐在一起讨论物理问题，那一年我们都到布鲁克海文访问。我发现吴大峻才思敏捷。在物理和数学研究上，他一定会绝对无畏而又坚韧不拔。当时，他是一个年轻的单身汉。可以说，我全家很快就跟他搞熟了。我们注意到他有一个习惯，总是有意地低估自己的力量。例如，我们一块玩桥牌时，他总会说他的“手气不好”，通常这表示他没有足够的力量打无将的牌，这一点我们是吃过几次亏后才明白过来的。

1950年代末到1960年代初，吴大峻对高等学术研究所进行了几次为期一年的访问。我们曾在一起做过广泛的讨论，但直到1964年我们才开始合作发表论文。

在 APS 华盛顿会议上关于高能物理的讲话(1964)

本文是作者在 APS 华盛顿会议关于高能物理的圆桌讨论会上的讲话，原载 Physics Today 17, 50, November 1964. 中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989 年 12 月。译者韩秀兰。本文标题为编者所加。

我们刚才听了三位发言人的讲话，他们描述了各种理论和实验高能物理方面的问题，以及在高能加速器设计方面的问题。我只就这一问题的历史方面谈一点我的看法。高能物理是物理学家研究物质结构这一传统工作的自然延续。用所有的标准进行比较，我认为我们可以不夸张地说，过去 60 年来，这一研究领域所取得的成绩是非常惊人的。我们回顾一下，在本世纪初，物理学家还只是研究原子的结构。30 年后，研究的课题发展到原子核，而今天，我们在研究亚原子的成分。能量的增加同样令人惊奇，也许还有过之。我们从几电子伏到成百万电子伏，再到今天的数亿电子伏，取得了很大的进步。如果回顾一下使这些研究成为可能的实验技术，你就会被这一发展过程中每个阶段所表现出的能力和创造性所深深打动。随着全世界对科学的觉悟和由此产生的对科学的巨大兴趣，随着研究技术的迅速发展，无疑会产生新的实验技术来应付这一领域所面临的每个新的挑战。勿须

说,这些进步对技术、人类事务和其他科学的影响是非常重大的。

我们参加讨论的成员之一温伯格(Weinberg)博士已经强调,评判某个特殊领域的一个重要标准是它对于相邻学科的影响。我完全同意将这一标准作为这次讨论会的一个重要内容。用这一标准来评判,我可以得出结论:高能物理的等级是非常高的。如果我们回顾一下过去60年的发展情况,我们可以看到,对物质结构的研究不仅仅是影响了相邻学科,实际上是创造了它们。这样说是不足为奇的。因为我们周围的物理和生物世界是由叫作物质的基本元素组成的,因此,对物质基本结构的研究在其发展过程中就会形成新的科学和技术。

对物质结构认识的不断增加,将物理实验不断深入到更微观的领域,以及对其他未知领域的创造和影响,当然都是很大的成就。但是,如果我们认为这些成就就是高能物理的唯一目标,那就大错特错了。因为这一学科的本质在于,探索对实验事实加以综合的新概念和新定律。这种综合就是马赫(Mach)所说的"对观察到的东西的简洁描述"。对于这样一种描述的探索是这一领域的真正目的。如果我们以这一探索中取得的成绩来评判产生高能物理的传统工作,我们就会对这一领域的真正意义和将来的责任有更好的了解。许多重大发现扩大了我们对物理世界的认识。除此之外,更重要的是本世纪头60年,在我们的物理概念中,人们目睹了三次革命性的变化:狭义相对论、广义相对论、量子理论。这些概念的革命构成了对物理世界进行描述的更加深入、综合和独特的体系。在引导我们对物理世界的重新理解上,这每一次革命的确导致了人类哲学观念的变化。

有人指出,一次性成功的学科往往有经过后代的概括而退化的倾向。然而,使高能物理得以诞生的传统使我们不必有这种顾虑。物理学家特别是理论物理学家有为推论而推论的歉疚感。

但总的来说，对该领域的集体判断力没有使其与经验偏得太远，这样说是公正的。

就高能物理来说，我认为我们应该忧虑的是我们达到最后目标所需要的时间和将要付出的努力，无需忧虑该学科目标的用途、重要性或者我们所说的崇高性。

决定接受"爱因斯坦教授"职位

——《关于高能大动量传输》(1965)一文之后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者黄健。原标题为《[65a]〈关于高能大动量传输过程的一些推测〉一文之后记》。本标题为编者所加。

这是一篇纯粹探讨性的论文。

在1960年代初,最激动人心的事件是各种共振的发现。这些发现吸引了许多物理学家的注意力。大约就在这个时候,大家都不太注意,新近在CERN和布鲁克海文建成的加速器正在揭示实验室能量大于10GeV的强子碰撞时引人入胜的某些普遍特点。G. Cocconi(柯库尼)、G. Collins(柯林斯)、A. D. Krisch(克里斯契)、J. Orear(奥里尔)、R. Serber(舍勃)和L. Van Hove(范霍夫)等几位实验和理论物理学家都在专注于这个课题的研究,此外还有其他一些人,但为数并不多。

我和吴大峻被这些特点深深地吸引。我们感到,它们一定表明了强子的某种普遍的结构性质。因为,倘若没有普遍的原因,对所有研究过的碰撞来说,大角度和小角度的微分散射截面之间不可能相差10^{10}倍以上。我们提出了这样一种想法:只要把强子

看作广延的客体，就可以找到这些普遍的原因。

我们认为这种想法是正确的，所以便把它引伸开来，写成论文[65a]。这篇论文是非常推测性的，人们普遍都不相信它正确。例如，那时没有人相信 $np \to np$ 弹性散射微分截面应该大体上是关于 90°对称的，正如我们的论文中式(36)所推测的那样。

论文[65a]是[66b]和[67b]的基础，后两篇论文提出了强子和核碰撞的几何模型。

1965 年春，奥本海默告诉我，他已经决定在 1966 年从高等学术研究所所长的职务上退休。我认为他选择这个时机是恰当的。因为几年来他在研究所遇到了麻烦，而事情刚刚平息下去。此外，约翰逊总统在 1963 年 12 月 2 日把恩里科·费米奖授予奥本海默，而所有物理学家都认为，美国早就应该给他这个奖赏。获得这个荣誉一年半之后宣布退休，看来再恰当不过了。

在那次谈话中，奥本海默透露，他将向董事会建议我接任他的空缺。我本能的反应是，不想当高等学术研究所的所长。奥本海默要我慎重考虑。

我认真考虑了这件事，几天之后，给奥本海默写了一封信，信中写道：“我能否当一名出类拔萃的所长是十分值得怀疑的，但毋庸置疑的是，当研究所所长决不会令我高兴。”然而，不管怎么说，命运似乎有意安排要改变我的生涯。

1964—1965 年间，纽约州立法机关通过决议，要在州内各所大学设立五个爱因斯坦讲座教授职位。这时，J. S. Toll(托尔)接任了纽约州立大学石溪分校的校长职务，该校物理系主任 T. A. Pond(邦德)教授和石溪的物理教授 Max Dresden(特莱斯顿)决定劝我接受爱因斯坦讲座教授的教席，他们希望能为石溪争取到这个职位。他们动员石溪的电子工程教授、当年我在昆明西南联大的同窗张守廉来游说我去参观石溪的校园，以便对它的学术空

气和教职员有所了解。

我和妻子领着两个较小的孩子，光宇和又礼，于 1965 年春访问了石溪。我们下榻于大学的日森(Sunwood)宾馆，从那里可以远眺长岛海峡。在我们到达的那个傍晚，从房间的窗框望出去，看到了海峡日落的壮观瑰丽景象，我们的心都快要被它攫去了。

然而，我这方面却犹豫不决。石溪正在扩大。Toll 和 Pond 答应让我当几年后将要建立的理论物理研究所的主任。研究所不大，我将不必把很多时间花在行政事务上。我天性不是那种喜欢掌管事务的人。我对他们这个建议的第一个反应是：我究竟是否懂得如何去掌管一个群体，哪怕它只不过是很小的群体？自觉或半自觉地，我一直拿不定主意。最后，我认定能学会当这个主任。4 月底左右，我接受了石溪的职位，并告知 Toll，我将于 1966 年到任。

汤川秀树的贡献(1965)

本文是作者于1965年9月30日在日本京都介子理论发表30周年纪念会最后一天宴会上的演讲。韩秀兰译自英文原稿。中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。

我们聚集在此庆祝汤川秀树(Yukawa)教授的介子理论诞生30周年,我感到非常高兴并受益非浅。与所有来自日本之外的与会者一样,这座城市和这个国家使我陶醉。日本人民根深蒂固的艺术感,日本人民的活力、热情和充满朝气都给我留下了深刻的印象。由于中国和日本有相似的文化背景,我可能比其他人有更深刻的感受。会议期间,我们已经进行了令人感兴趣的、有意义的讨论。这些讨论将会引起今后进一步的思考。对于所有这些,我想表达我对这次会议组织者的衷心感谢。

但是,我在最后几天的另一方面的体验至少与前面所讲的同样重要。这就是:汤川秀树的伟大贡献可归为三个不同但有联系的层次。一个是科学层次,在这个层次上,汤川秀树的论文开创了一个新纪元。一个是日本国家的层次,在这个层次上,我们看到,由于汤川秀树的激励,日本在物理学方面的先进研究取得了突飞猛进的发展。另一个是国际层次,在这个层次上,日本的发展为所有正在努力立足于现代世界的人们树立了一个榜样和创

造了一种信念。从历史的角度来看(抛开某些政治家的短见),我们的时代无疑会作为科学的时代、作为唤醒全体人民和整个社会奔向自决目标的时代而被记载下来。由于这一点,请允许我对汤川秀树的伟大贡献表示更深切的赞扬,仅就此,我感谢大家。

高能物理和科学选择的标准(1965)

本文是作者在美国公开听证会关于辐射问题研究发展的分委员会上的演讲。由姜绍周、韩秀兰译自英文原稿。中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。

主席先生、联合委员会的委员们:

首先我要强调,我是一位高能物理学家,在评论技术、教育和其他科学方面的能力是很有限的。在准备这次圆桌讨论会的过程中,我除了研究联合委员会刚刚发的小册子中的各种文件之外,还研究了许多发表过的文章和一个小型讨论会的记录,我认为所有这些资料都是一年前温伯格(Weinberg)博士的一篇名为《科学选择的标准》的很有创见的文章[①]发表后进行热烈的讨论而产生的。这些文章的目录列在本文的后面。[②]我认为它们对联合委员会的成员们会有很大的参考价值。

高能物理对有关的科学家、大学生和研究生的基本要求是智慧。无论是在日常接触战术性问题时,还是考虑本领域的长远的战略观点时,一位高能物理学家只是被求知欲所激励。但我认为这种纯智力的要求不是他心安理得地要求广大公众对他的研究给予支持的理由。在这一点上,我完全同意温伯格博士的看法。我认为,他所发起的关于科学选择的公开辩论会和他提出的科学选择的客观标准、科学价值、技术价值和社会价值都起了重大作

用。但是，我却不同意温伯格博士把这些标准运用于高能物理领域，并根据这三个标准把高能物理列在很低的位置。

首先我们来看看科学价值，也就是一门特定的科学对其他科学的重要性。高能物理的一个目的，事实上是最初的目的而且仍然是目前最重要的明确目的，就是深刻了解原子核的结构，要比能工巧匠对他的杰作了解得更多。形成对核结构的这种深刻认识，所使用的概念必定来自对高能物理的研究，这是核物理学家和高能物理学家基本一致的看法。

然而，高能物理的目的比认识核结构更广泛，它包括像基本时空结构及电的起源和意义这些基本问题。我们只须看几个科学史上的例子就会相信，这些问题的解决将导致其他学科的深刻变化。化学，是一门古老的科学。本世纪前 25 年，由于量子力学的发展，引起物理学中基本概念的变化，这些基本概念的变化完全改变了化学，这一发展同样也改变了生物学。又如，蒸汽机技术 18 世纪就产生了，但 19 世纪中期热力学科学中的伟大物理发现完全改变了这一领域。

由于高能物理涉及到用来描述我们周围物理世界和生物世界结构的基本概念，那么我认为，单从温伯格所说的科学价值来看，高能物理比其他任何科学都重要。③

其次，我们来看看技术价值，正如西伯格(Seaberg)博士已经简单明了指出的，虽然在发现和认识基本物理规律的时候并没有预见它们所带来的后果，但历史已经证明，在长期历史进程中，这些认识对科学、技术和整个人类都产生了巨大影响。我们举几个例子：

1886—1887 年，迈克尔逊(Michelson)和莫雷(Morley)在克利夫兰(Cleveland)做了一个关于光速的基本实验。这个实验在当时完全没有技术价值，它只是提出了一些基本概念。18 年后，

即1905年，爱因斯坦(Einstein)在这个实验基础上，提出了现在著名的 $E = Mc^2$ 公式，而这个公式为所有有关核能量的思考打下了基础。

另外一些例子如：电子显微镜、受激辐射微波放大器和激光器的发展。这些伟大的技术进步都来自对于电子和原子特性的基本研究。

考查今天的技术，以固态物理工业为例，它是物理学对原子、分子和固体的电子结构进行研究的直接产物。核能计划也是一个例子，它是物理学研究核结构的直接产物。显然我们正在开创精密技术新纪元，人们开始处理越来越小的单位，直到原子和亚原子。这种技术还只是处于萌芽时期，它的进一步发展将不断要求更灵敏更精细的控制设备，高能物理在研究最小距离和最短时间间隔方面将可望成为新思想和新推动的源泉，而后者在技术发展中是至关重要的。

最后谈谈高能物理计划的社会价值问题之一，就是它对教育的影响。我只引用戈德哈伯(Goldhaber)博士在这方面的一段话：④

> 显然，如果什么时候中断这一前沿研究的话，它不仅将影响到高能物理学，而且将慢慢地但无疑地影响到物理学的其他分支：首先是原子核物理；然后是固体物理；最后是相邻的学科。因为这样会使基本粒子领域得以产生，并得以传播到其他领域的热情，通过学生与老师的接触和通过许多其他途径，一下子从整个科学界消失得无影无踪。我想，任何想省钱的人都不会期待那样。

最后，我再加上一句，根据原子能总署(AEC)的报告，1975年的计划开支水平是每年约5亿美元。这是一笔庞大的社会资

金。但是，如果有可能用这笔钱购买对今日世界的科学、技术和社会具有重要意义的东西，比如量子力学，那么它或许能使得人们不那么将对投资的要求看成是一种社会负担，而将其看成是一次受益的机会。

主席先生请允许我就这最后一点进一步谈谈。看一看物理学史，不用回溯许多年，我们就会认识到：很长时间以来，或许是30年，这个国家在物理学研究方面并非一向处于领先地位，并不是每个社会，在每个社会内也并不是每一代人，都有社会支持像你们现在审查的高能计划这样在智慧和技术上都具有潜在重要性的事业。

我还想念一段我准备好的发言稿的脚注，因为它与今天下午我们讨论时反复出现的一个术语有关，我现在就念一下这段脚注：

那时为什么温伯格博士得出了不同的结论？我想答案至少有一部分是因为使用“深”和“远”这两个语义不同的字。他似乎同意高能物理是研究物理学中的“深奥”问题。

他也着重强调高能物理学是“远离”其他科学的。通常，深奥的事物总是远离表面的。但高能物理学所寻找的深刻概念是这样一些概念，没有这些概念，离表面较近的现象最多只能认识其中的一部分。如果这样，它们离其他科学当然就不遥远了。

注：

① A.M.Weinberg, *Physics Today*, March 1964, p.62.

② Two open letters, between V. F. Weisskopf and A. M. Weinberg: *Physics Today*, June 1964. p.46. "High, Energy Physics Round—Table Discussion." *Physics Today*, November 1964, p.50.

③ 那时为什么温伯格博士得出了不同的结论？我想答案至少有一部

分是因为使用“深”和“远”这两个语义不同的字。他似乎同意高能物理是研究物理学中的“深奥”问题。他也着重强调高能物理学是“远离”其他科学的。通常，深奥的事物总是远离表面的。但高能物理学所寻找的深刻概念是这样一些概念，没有这些概念，离表面较近的现象最多只能认识其中的一部分。如果这样，它们离其他科学当然就不遥远了。

④　*Physics Today*, November 1964, p. 55.

跳出象牙塔

——《一维链(I)》(1966)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年9月。译者甘幼玶。原标题为《[66e]〈各向异性自旋—自旋互作用的一维链。Ⅰ.关于有限系统基态的贝特假设的证明〉一文之后记》。本标题为编者所加。

论文[66e]及这个系列的后继文章[66f]、[66g]等代表了杨振平同我在1965—1966年间的研究工作。是以下几个动机促使我们去做这项工作的。

1951年初,开始计算Ising模型的自发磁化时,我仔细地研究了布洛赫的自旋波理论。为此,我读了贝特(H. A. Bethe, 1967年诺贝尔物理学奖得主,译注)和L. Hulthén(赫尔谈)的文章,它们都很有意思。遗憾的是,我走岔了道,寻求Hulthén方程的复数解却不得要领,终于把这个问题搁了下来。1962年,做完非对角线长程序的研究(论文[62j])之后,我寻觅一个能够证明有这种长程序存在的哈密顿系统。这项研究打打停停,其中有的是同吴大峻合作,有些则同杨振平一起搞。1963年,E. H. Lieb(李勃)和W. Liniger(林尼杰)发表了两篇讨论具有δ函数互作用的一维

玻色气体的有趣论文。1963 年夏，我访问加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)时同 J.B.McGuire(麦克瓜谔)讨论了这些文章，受益良多。Lieb 和 Liniger 所用的方法同贝特的一样，那就是，假定不存在衍射，只有反射，并验证这个假设是自洽的。我试图用类似的假设去构造一个具有非对角长程序的哈密顿，但没有成功。

稍后，根据我们在 1963 年的一篇论文(即[64e])，杨振平和我尝试着在格气模型中考虑量子效应。因为我们确信下面两点：第一，格气模型给出液—汽相变中临界现象的一种极好的近似；第二，对于轻的气体来说，量子效应是重要的。于是，我们发明了量子格气。后来才知道，早在 1956 年，松原(T.Matsubara)和 H.Matuda 就发明了它。1965 年 12 月，我们写出论文[66a]，报告了我们的研究工作。甚至在写该文以前，我们就明白，这些各色各样的尝试都汇集到一点，那就是应用贝特的假说去研究一维海森堡—Ising 自旋链究竟有什么价值这个问题。这个自旋链的哈密顿具有下述形式：

$$H = -\frac{1}{2}\sum[\sigma_x \sigma_x' + \sigma_y \sigma_y' + \Delta\sigma_z \sigma_z'] \tag{1}$$

这个问题在数学上同具有最近邻互作用 Δ 的一维量子格气问题相同。

在此之前，贝特、L. Hulthén、R. Orbach、L. R. Walker、R. B. Griffith、J. Des Cloizeau、J. J. Pearson 和其他人已经研究过式(1)的特殊情形。杨振平和我发现，通过研究一般情形，人们可以应用关于参数 Δ 的连续性讨论求得贝特和 Hulthén 研究过的那些超越方程的解的信息。我们按照这种想法做了这项研究，在 1966 年写出了[66e]、[66f]及[66g]这几篇论文。

这三篇论文引出了随后几年(1967—1971)的许多努力,其间,黎振球、Bill Sutherland、杨振平和我积极地研究那些应用贝特假说的各式各样的问题。近年来,这些论文的方法和结果对场论变得有用起来,对求解一些新模型也有用。

做论文[66e]、[66f]的过程中,杨振平和我学到了两种有用的数学方法。其中一种是关于求解方程的一个拓扑学定理和关于指数的拓扑学概念。我们是从 Hassler Whitney(惠特尼)那里学到这个定理的。对于证明贝特假说的确给出基态波函数这点来说,这个定理非常有用。做这个证明时,用到刚才所提的拓扑定理,此外还要加上关于 Δ 的连续性论证。我们学到的另一个数学工具是求解 Wiener—Hopf 方程的方法。M. Kac(卡斯)和吴大峻介绍我们去读 M. G. Krein(克雷因)关于这个问题的长篇评论。我们发现这篇文章写得很漂亮。

论文[66e]、[66f]和[66g]是在我家从普林斯顿搬到石溪期间写成的。搬去长岛,我们全家都感到兴奋。但是,我却别有一番滋味在心头。从 27 岁到 44 岁,我在高等学术研究所整整度过了 17 个春秋(1949—1966)。在这里,我出了许多科研成果,也过得很快活。我喜欢这里朴实无华的乔治式建筑和平静而严谨的气氛。我喜欢它那延伸到林中小吊桥的长长的通幽曲径。它是世外桃源。它是一个冥思苦想的国度,住在这里的人都在默默地想着自己的事情。研究所的终身教授们全是第一流的,到这里访问的人一般说来也都很出色。它是一座名副其实的象牙之塔。

搬家期间,有时我免不了要扪心自问:离开高等学术研究所究竟是否明智之举。每次,我都得到同样的答案:是的,我做得对。象牙塔毕竟不是整个世界,为建造一所新大学而出力,这种挑战是令人兴奋的。

关于重整化

——《光子自能》(1966)一文的后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年。译者甘幼玶。原标题为《[66h]〈光子自能中重叠发散的处理办法〉一文之后记》。本标题为编者所加。

1954年在布鲁克海文，米尔斯和我注意到，在重整化理论中，处理重叠问题时有一处小小的漏洞。Ward(华德)的方法最为优雅地处理了重叠问题，但把这个方法用到光子传播子上时，人们必须小心，以免遇到不自洽的麻烦。我们提出了一种处理办法，可以达到自洽的目的。那时，我们没有发表这项研究结果，因为我们知道，只有得到第14阶以上的修正后，人们才需要考虑这种不自洽问题(吴大峻的论文中，图5、图6明确表明出现这种不自洽的可能性)。

1966年，米尔斯和我把我们的想法写成论文，收在朝永振一郎60诞辰纪念文集中，这就是论文[66h]。

重整化方案是物理学的伟大发展。这个理论的主要缔造者是朝永振一郎、施温格、费曼和F.J.Dyson(戴逊)。1965年把诺贝尔物理学奖授予朝永振一郎、施温格和费曼时，我就认为，诺贝

尔委员会没有同时承认 Dyson 的贡献，因而铸成了一个大错。直到今天，我仍然这样想。朝永振一郎、施温格和费曼并没有完成重整化方案，因为他们只做了低阶的计算。只是 Dyson 敢于面对高阶计算，并使这一方案得以完成。在他那两篇极有眼光的顶呱呱的论文里，Dyson 指出了这种非常困难的分析中主要症结所在，并且解决了问题。重整化是这样一种方案，它把可加性的减法转换成乘法的重整化。要能行之有效还需要经过证明。这种证明是一项非同小可的艰巨工作，Dyson 把它完成了。他给原初发散性、骨架图及重叠发散等概念下了定义。利用这些概念，他对问题作了深刻的分析，完成了量子电动力学可重整化的证明。他的洞察力和毅力是惊人的。

高能二体反应研究进展

——在纽约石溪高能二体反应会议上的总结报告(1966)

本文原载 Proceedings of the Conference on High Energy Two—Body Reactions. Stony Brook, 1966. 杨福征、韩秀兰译，中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989 年。

要总结这样一个内容丰富而紧凑的会议是件困难的事。我不打算那样做，只准备谈几点一般性意见。我们听了马丁(Martin)先生报告自己所做的关于物理假设最少时散射振幅解析性质的工作。我们还听到了最近根据散射振幅的相加性质对散射截面的甚高能行为所做的尝试性研究。另一个有益的进展是雷杰(Regge)图中散射振幅与时间的依赖关系及其对各种实验结果的拟合。还有大量富有成果的实验报告，我们需要花一些时间来消化。对我来说，在实验报告中最令人兴奋的结果是柯林斯(Collins)先生论文中提出的两点。他指出，出射质子的动量分布似乎与纵动量无关。另外，$pp \to pp^*$ 截面在较高能量下好像并不随入射能量的增加而减小。

实验上，我们正在攫取关于甚高能碰撞的丰富而有意义的信息。理论上，我们似乎仍在寻找描述这些现象的语言。无论如何，我们显然是面对着一个多自由度系统，其有效数随着入射能量的增加而迅速增加。在 GeV 能区存在大量的激发态、在高能

时非弹性截面占优势，尤其是在高能大角度情况下弹性截面迅速趋向于零等方面，我们看到了上述情况。在物理学发展的历史中，当人们碰到多自由度系统时，往往会试图分离它，并研究含有一个或只有几个自由度的最简单结构。不幸的是，在这里是办不到的，要想对甚高能性质有一个全面的了解，必须准备去处理一个多自由度的系统。然而，我们希望，在实现这样的全面了解之前，能够找到一些语言，以合理的有效程度来描述高能现象的特定方面。统计模型、重叠函数模型、吸收边缘模型、液滴模型及雷杰图等都是在这方面的尝试。

在爱因斯坦邮票发行仪式上的讲话(1966)

本文原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985 年 12 月。译者甘幼玶、黄得勋。

有机会在此纪念爱因斯坦的仪式上致辞,我感到十分荣幸。今天,我是代表高等学术研究所出席这个集会的。爱因斯坦自该所一成立便应邀作它的一名教授,研究所对此感到非常自豪。我自己作为一名年青的物理学者来到普林斯顿的初期,曾经有幸聆听他的讲演,并曾数次和他讨论问题。然而,我今天所要说的并不是这些交往。我在这里作为爱因斯坦的一个崇拜者发言,他是我们这个时代最伟大的物理学家;与牛顿一道,是历史上两位最伟大的物理学家。

19 世纪下半叶宏观物质的物理学有了高度的成功。该世纪的两个最辉煌的物理学成就——电磁学和热力学—统计力学——为描述物质的宏观性质奠定了全面的基础。然而在这样的描述中还缺乏某种东西:怎样去了解构成宏观物质的基本结构单位呢? 19 世纪末,物理学家已经发现与以往研究宏观物质所看到的完全不同的奇怪现象,其中包括:迈克尔逊—莫雷(Michelson—Morley)的

光速实验，放射现象，普朗克(M. Planck)辐射定律等等。总而言之，物理学正在进入一个新阶段，在这个新阶段里，物质与能的微观性质成了研究的中心课题。

爱因斯坦将他的独特的天才带进了这一阶段，给了我们两次物理思想上的革命：狭义相对论与广义相对论，并且为形成第三次革命——量子力学作出了他的贡献。在这样做的时候，他不仅建立起了深入的原子现象的理论，还将人类从绝对时间和欧几里得空间的观念中解放出来，把人对物理世界的理解的意义作出了全面的新估价。

爱因斯坦的工作表露出了他的有力的深刻的物理洞察力。他有强烈的美感和结构感。他既大胆而富创造性，又沉着而当仁不让。让我给各位念一念1935年他在居里夫人逝世时的讲话的开首一段：

> 在居里夫人这样一位巍峨的巨人已经结束了她的生命的时刻，让我们不要仅仅回顾她的工作所带给人类的丰硕成果。领导人物的道德品质比之他们纯粹的智慧结晶对于一代人以及对于历史进程也许有更巨大的意义。而智力成果本身与人的品格的关系，也远比通常以为的要密切得多。

爱因斯坦自己就是追求科学所需要的力量和毅力的象征，他的研究工作是在他之后的科学家的灵感和勇气的源泉。

《在爱因斯坦邮票发行仪式上的讲话》(1966)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。译者宁可。

1966年3月14日,美国邮政局发行了一枚特种邮票,票面上的图案是杰出的摄影家海尔斯曼(Halsman)拍摄的爱因斯坦像片。奥本海默(Oppenheimer)被邀请在邮票发行典礼仪式上讲话。在举行仪式的前几天,他因患了流感,就打电话给我,让我代他去讲话。

我写了一篇简短的发言稿,并在仪式上宣读了。令我感到意外的是,在仪式结尾,爱因斯坦的女儿玛尔格特(Margot)、他的秘书杜卡丝小姐(Dukas)和海尔斯曼都赶过来对我刚才的演讲说了一大堆感谢的话。而后,海尔斯曼说要给我看什么东西,我们约定当天晚些时候在我办公室会面。

他给我看的是他要寄给《纽约图书评论》杂志的一封信的草稿。在信里,他批驳了奥本海默的一篇关于爱因斯坦的文章,那篇文章是按照1965年12月13日奥本海默在联合国教科文组织(UNESCO)庆祝会上的讲话写成的。当时,海尔斯曼大发雷霆。

他向我解释道，爱因斯坦曾把他救出纳粹德国，爱因斯坦对他有再生之恩，他把爱因斯坦视为自己的父亲。他的信稿措词强硬。后来此文发表在5月26日出版的一期《纽约图书评论》上，但文章已被修改得语气缓和了许多。

我既没有听说过奥本海默的文章，也没有听到过他的那次演讲，丝毫不知他们之间发生的激烈争吵，因此我无言以对，所发生的一切使我颇为震惊。

后来我搞到一份奥本海默的文章的复印件，文章发表于3月17日，写得很漂亮，概述了奥本海默对爱因斯坦的看法——物理学家与男子汉——以措词谨慎的印象派方式就事论事。我觉得海尔斯曼是过虑了：奥本海默的文章并非出于恶意，不过“造作”（“Sophisticated”）[①]难解些罢了。

注：

① Sophistication 一词的意思正是奥本海默与海尔斯曼争论的焦点之一。

奥本海默的悲剧

——《关于高能散射的几点注记》(1967)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary,Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年。译者甘幼玶。本标题为编者所加。

我所认识的1966年新到石溪来的青年物理学家中,有一位名叫邹祖德。有一阵,我们合作研究统计物理,但不久便把注意力转到高能碰撞问题上。我们发现,先是在研究大 t 现象时由论文[65a],后又在研究小 t 现象的论文[66b]中发展起来的几何观点可以扩展成关于弹性碰撞的一种定量理论。论文[67b](即《关于高能散射的几点注记》一文)是我俩在这个问题上合作发表的第一篇文章。在它之后,有一系列富有成果的论文,讨论了弹性及非弹碰撞的几何描述问题(参见[68b]、[69c]和[80a])。

论文[67b]的第2节致力于叙述"广延性结构的证据"。我们认为当时的实验结果(高能情况下,弹性微分截面趋于一个极限,即$\frac{d\sigma}{dt}\to f(t)$)清楚地显示了一个具有广延性结构的客体所引起的衍射现象。我们觉得,这一论证是确凿无疑的。此外,霍夫斯塔特(R. Hofstadter,1961年诺贝尔物理学奖得主,译注)已经测量到质子的物理尺度。邹祖德同我确信,由广延散射体引起的衍

射现象是可以从波动传播的普遍原理推理出来的。但是，60 年代中期，许多物理学家都被 Regge（雷杰）的那一套迷住了，以致不去理会研究高能散射现象的其他方法。我们认为，两种研究方法并不互相排斥，它们是相辅相成的。

论文[67b]是 1967 年 2 月 27 日至 3 月 3 日在以色列举行的一次会议上报告的。赴会途中，在新加坡短暂停留时，我获悉奥本海默已于 2 月 18 日逝世。我在 1966 年底与他见过最后一面，当时我到普林斯顿作了一次短暂访问。那时，大家都知道他得了癌症。我给他打了电话，并到他的办公室去看望。我原本打算敦促他考虑写一些关于原子弹和人类关系的文字，诸如最后的见证之类。但是，我见他如此憔悴，便没有谈及这个问题。

世界历史上，像奥本海默那样，生活充满了戏剧性（或者说悲剧性）的人物并不多见。他的同辈人曾认为，奥本海默才气横溢，却没有对物理学做出什么重大贡献，这更增加了他一生的悲剧色彩。这种说法现在已有改变。他同 G. Volkoff、H. Snyder（席特）关于黑洞的开创性的工作，今天被承认是一个伟大的贡献。在未来的岁月里，他的这一工作肯定要在物理学和天文学中起着越来越重要的作用。

蓬勃发展的规范场理论

——《经典同位旋规范场方程的一些解》(1967)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年。译者甘幼玶。本文标题为编者所加。

1955至1957年间，我虽未发表过任何关于规范场的论文，但我还是不时地做这方面的研究。1960年代初，吴期泰和我合作，试图做规范量子——规范量子散射方面的计算，并讨论么正性问题。求得的结果使我们莫名其妙，只好把它束诸高阁。1967年，吴大峻和我着手研究一个不同的问题：力图找出纯规范场的经典解。结果便是论文[67d](即《经典同位旋规范场方程的一些解》一文)，我们把它献给泰勒的60寿辰纪念文集。

论文[67d]的目的是寻求没有奇点的经典解，然后研究这些解附近的微扰，看看是否会得到激发。1930年代，玻恩(M. Born，1954年诺贝尔物理学奖得主，译注)和Infeld(英费尔德)已经作过类似的尝试，但他们不得不采用一个比较任意的拉格朗日。利用规范场，我们不需要做这种特别的假设。文章的第Ⅲ节详细计算了哈密顿的二阶变分 δ^2H。1940年代初，泡利、S. Dancoff、施温格和胡宁已经用强耦合理论做过这方面的探讨。

在策略上，论文[67d]重要的新意在于引进了式(5)的假设，它把同位旋指标同空间指标混合起来了。

我们都认为，所求得的结果是没有根据的。即使它正确，也肯定会把人引入歧途(参见[75c])。

在1967年，吴大峻和我并没意识到，我们的目标实际上同对称破缺的观点有很大干系。1960年代初以来，Y. Nambu(纳姆波)、J. Goldstone、P. W. Anderson(安德逊)、P. W. Higgs(希格斯)和其他许多人在场论中已经讨论过对称破缺问题了。回想起来，这是因为我有一种先入为主的看法，抗拒基本场论中对称破缺的观点。我觉得，如果一种对称性是不可观测的话，它就不能在基本理论中占有一席之地。在铁磁体中肯定观测不到各向同性这种对称性，但是，我争辩道：如果把铁磁体拆散开来的话，原子间的元相互作用便会显示出各向同性这种对称。事实上，这就是何以人们从各向同性哈密顿出发去研究磁体问题的原因。我认为，在具有对称破缺的场论中，对称性是不可观测的：没有一样东西是可以拆散的。

现在我知道，在我那种先入为主的论证当中，有几件事搞错了：(1)严格遵奉"只考虑可观测的对称性"这种哲学，是不可取的。任何情况下，对局域规范对称性来说，"可观测性"的意义本身并不清楚。(2)只有在低温下，对称性才可能破缺。在足够高的温度下，完整的对称性可得到恢复。

1960年代和1970年代关于规范理论的论文数不胜数，要把它们罗列出来是不可能的。其中，特别重要的是G. t'Hooft(特霍夫特，他是M. Veltman的学生)关于重整化的出色工作，以及格拉肖、温伯格(S. Weinberg，1979年诺贝尔物理学奖得主，译注)和萨拉姆所发展的模型取得的成功。关于渐近自由、大统一、量子色动力学和量子幽禁的激动人心的观点，全都显示了一种蓬勃

发展的局面。但我依然相信，仍缺失了某些基本的新观念。例如，引进一个场去使对称破缺，不会是一种终极理论，虽然它或许是一种好的暂时理论，就像费米的 β 衰变理论那样。

通向新的数学方法

——《δ 函数互作用》(1967)一文的后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co.1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年。译者甘幼玶。原标题为《[67e]〈具有排斥性 δ 函数的互作用的一维多体问题的一些准确结果〉一文之后记》。本标题为编者所加。

B. Sutherland(塞兹兰)是我在石溪的第一个研究生。他很文静。起初我感到他说话腼腆,缺乏自信。但是,很快我就发现他的物理知识基础非常牢靠。除此之外,他还非常有创造性。看到他在统计力学研究方面羽毛日渐丰满,我由衷地感到高兴。

Sutherland、杨振平和我探讨了贝特假说的各种应用。论文[67e]以及 Sutherland 后来的一篇论文代表了这方面的一个应用。最近在求解 Kondo 问题(参见论文[66e])时,发现论文[67e]、[66f]和[69a]中所使用的方法很有用。

论文[68a]是接着[67e]的。[68a]同后来关于可求解模型 S 矩阵的研究有很大的关系。做这方面研究的有 R. Baxter、A. A. Belavin、I. V. Cherednik、L. D. Faddeev、V. A. Fateen、M. Karowski、L. A. Takhtazhan、H. B. Thacker、D. J. Wilkinson、A. B. Zamolodchikov、B. Zamolodchikov 及其他一些人。

牢固的基础十分有用

——《一维玻色系统的热力学》(1969)一文之后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年。译者甘幼玶。原标题为《[69a]〈具有排斥性 δ 函数互作用的一维玻色系统的热力学〉一文之后记》。本标题为编者所加。

[66e]中建立贝特假设的严格性这时得到了回报。它使我们对这个问题的量子数 I_1、I_2、…等有更好的理解。由这种理解而产生的"安全感"使我们能够在后来迈出了更大的一步，从而解决了有限温度的问题。这项研究在某种意义上为后续研究工作的起飞构筑了一个牢靠的平台。

究竟在什么时候以及如何发生下一次飞跃，是一个常会提出的重要问题。这过程所涉及的心理因素，诸如魄力、冲动、气质、鉴赏力和信心等，全都起着重要作用，或许就像技巧的作用一样重要。我们做[69a]这项研究的经历正好表明，牢固的基础十分有用。但是，过份注意基础的牢靠可能会压抑冒险精神，这种精神同样也是重要的。

论文[69a]所解决的问题是有限温度下的一种场论。如果我没有搞错，直到今天它还是在有限温度下已求得解答的唯一不寻

常的例子(除了推广到有关模型的情形以外)。它巧妙地定义了真空、互作用及激发谱。请参看论文[71d]及[71b]的注记。

《高能碰撞中的有限碎片假说》(1969)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary，Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年。译者甘幼玶。

1968年，邹祖德和我写了一篇论文，解释了[67b]关于弹性碰撞过程的观点，这就是[68b]。很自然地，我们的思想便转向非弹性散射问题。一段时间以来，人们从Collins(柯林斯)小组在布鲁克海文所做的实验得知，在强子—强子碰撞过程中，出射粒子的横向动量很小。考虑到这一引人注目的事实，重新考察早先的许多观点，例如吴大峻和我在论文[65a]提出的“广延性客体”观点；几何模型；费米统计模型；G. Cocconi(柯库尼)的、K. Niu的、以及P. Coik等人的两火球模型；还有M. L. Good和W. D. Walker的衍射分解观点等等，我们(Benecke、邹祖德、阎爱德和我)逐渐明白了，各种模型的异同实际上都同这个实验事实有关。基于这种归纳法的考虑，我们提出了有限碎片的假设，写成了论文[69c](即《高能碰撞中的有限碎片假说》一文)。

在论述这个假设的第8节中，我们列出了一些实验数据，以此作为证据。不过，这些实验并不是为验证这个假设而做的。因

此，在我们心目中，它们并不占有重要份量。使我们大胆提出这个假设的，实际上是第8.7节的理论论证。后来，在基辅作报告时，我把这种论证用上了，那就是论文[70f]。这种理论论证了，如果你相信弹性散射的几何观点，那末，你一定也相信有限碎片假设。

1970年至1973年间，这一假设得到了无数实验的证实，这并不出我们所料，但仍使我们高兴(最精确的一个实验是比萨—石溪实验。或许很多人都曾想到过要做这个实验，但我最先听到的是J.Kirz的建议)。1971年，A.M.Baldin把这个假设推广到核碰撞上面去。

我们试图向其他物理学家解释有限碎片假设，这种经历非常有趣。很多情况下，他们先是不相信，继之又说，这种想法是显然的，而且它只不过是一种运动学的观点。是的，运动学确实起了一定作用，但它所涉及的物理学决不只是运动学。在抛射体坐标系和实验室坐标系中，“碎片”和“有限碎片”的概念是一种动力学描述而不是运动学描述。

我们的论文曾在1969年9月石溪会议上报告过。费曼也在会上报告了一篇论文，该文有些部分与我们的想法非常相近，但用不同的语言表述，观点也不相同。两种观点的差异是因为我们喜欢用实验室坐标系及抛射体坐标系，而费曼则喜欢用质心坐标系。很快，大家就直接或间接地明白了两者之间的关系并对此加以讨论，其中有邹祖德和我的论文[70c]。

高能强子—强子碰撞

——在"粒子理论基本问题"基辅会议(1970年8月)上的报告

原载 Proceedings of the Kiev Conference—Fundamental Problems of the Elementary Particle Theory, Academy of Sciences of the Ukranian SSR, 1970。中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。译者高成群。

虽然高能碰撞实验产生出大量的复杂的事例,然而只呈现出少数普遍而明显的特点。由于这些特点的普遍性和其在高能现象方面所具有的支配作用,我认为高能碰撞的任何一种物理图像在说明问题的细节之前,必须首先着眼于这些特点。我在此简短的讲话中将先叙述这些普遍的明显的特点,进而描述在最近几年内发展起来的专门配合这些特点的一种物理图像。该图像最初是用来讨论弹性散射的,可是它自然地——如下所述的确是不可避免地——导致了关于非弹过程的结论,产生了一个称之为极限碎裂假定的思想[①],在我这篇报告结束时将给出进一步推测性的评论。

1. 高能碰撞的普遍特点

高能碰撞的三个最明显的普遍特点是:

(1) 缺少带有大横动量的任何种类的出射粒子,在宇宙线物

理学中，这一事实许多年来已为人们所熟知。

(2) 大角度弹性截面非常小，事实上在定角下，微分截面好像是随入射能量的某个次幂指数衰减。这一事实在早期的 PP 散射实验中首先引人注目地被揭示出来[②]，之后自然地被容纳在高能碰撞的"破碎"的假定中[③]。按此观点，强子被看成是一个有许多内部自由度的广延客体，如大角度弹性散射所需要的大横动量转移，通常会使强子破碎而导致非弹性碰撞。这一观点也很自然地与上面提及的特点(1)相协调。

(3) 对很高的能量明显地存在着极限：

$$\mathrm{Lim}(\mathrm{d}\sigma/\mathrm{d}t)_{\text{弹性}} = f(t) \tag{1}$$

因为对大能量，$t \cong \kappa\theta$（κ 是质心系波数，θ 是质心系散射角），所以极限(1)的存在意味着，随着波数 κ 的增加，散射角按比例减少，当然这正是衍射现象。换句话说，如果从有限扩展的散射区来看，高能散射能够被看成是一种衍射的话，那么(1)式则是自然而然的事。

特点(2)和(3)与如上概括的它们的物理解释能很自然地加以综合，这个工作业已完成[④]并导出了关于强子几何形状和弹性散射之间的一个有意义的关系，这一关系与实验数据的一致性是令人满意的。

2. 高能弹性碰撞的物理图像

通过考察如图 1a 所示的实验室系中的一个 πp 碰撞，基于上述考虑的物理图像可以得到说明。入射的 π 介子，因洛伦兹(Lorentz)收缩效应而发生收缩，它贯穿靶质子而经受一无限小角度的偏转，与此同时，靶质子产生反冲。现在让我们再考虑图 1b 所示的其入射动量十倍于上述情况的一个同样的碰撞实验。

虽然入射粒子进一步收缩为原来收缩的十倍，但它的速度并没有明显的改变。极限(1)的存在则可表述为：π 介子贯穿质子的透射系数在图 1a 和图 1b 两种情况之间没有多大改变，换言之，进一步收缩不影响透射系数。之所以如此，可假定是因为无论是否发生进一步的收缩，仍有同样多的“物质”必须透射出来。

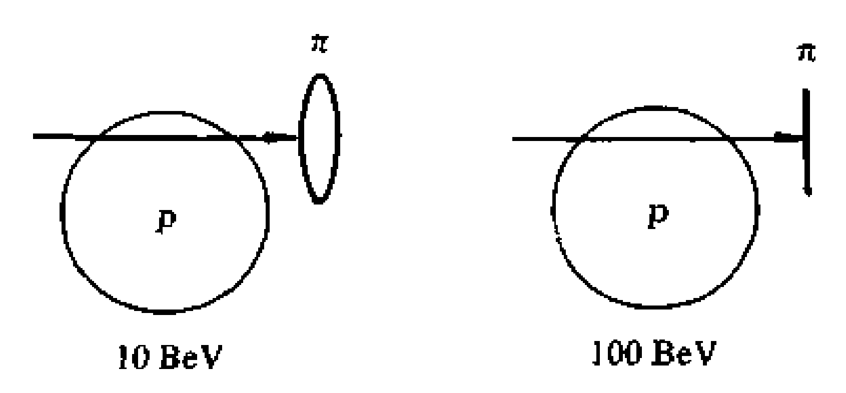


图 1　实验室参考系中，入射能量为 10BeV 和 100BeV 的 πp 碰撞图解。如果 π 介子穿过质子后，二者内部都没有被激发，那么就会得到具有惠更斯原理所描写的角分布(1)的弹性散射④。

3. 在很高能量下非弹性过程的物理图像

记住(1)式的这个解释后，让我们再来看一看非弹性过程。一般说来，π 介子穿过质子后，质子将不再处在它原来的内部状态上，通常可望它会振动起来，或被激发(此外还吸收反冲动量)。有关弹性散射的极限(1)的上述解释则自然导致如下假定：当由图 2a 变为图 2b 时，靶的激发模式或振动模式也不应该有多大改变。因此，当靶最终被击毁时，或者说碎裂时，碎片的分布对这两种情况实际上是一样的。这个假定称之为极限碎裂假定①。

的确，人们可能会问：是否可能找到一种理论模型，对弹性散射显示出极限(1)，而对碎裂过程并不导致某一极限？答案是否定的。靶有许多内部自由度的任何模型，本质上被限制在**要么对弹性过程和碎裂过程二者都产生极限要么对二者都不产生极限**。

原因是简单的，这是由于靶的反冲的未激发态和激发态肯定会互相耦合。当入射粒子从靶粒子内掠过时，靶粒子的未激发态和激发态之间彼此发生转变。构造一个对未激发的反冲（即弹性过程）导致一个极限，而对激发的反冲（即碎裂过程）不导致极限的数学模型，这是一件很不自然的事。

上述讨论同样适用于入射粒子为静止的坐标系，在此坐标系中，入射粒子也呈现极限碎裂。

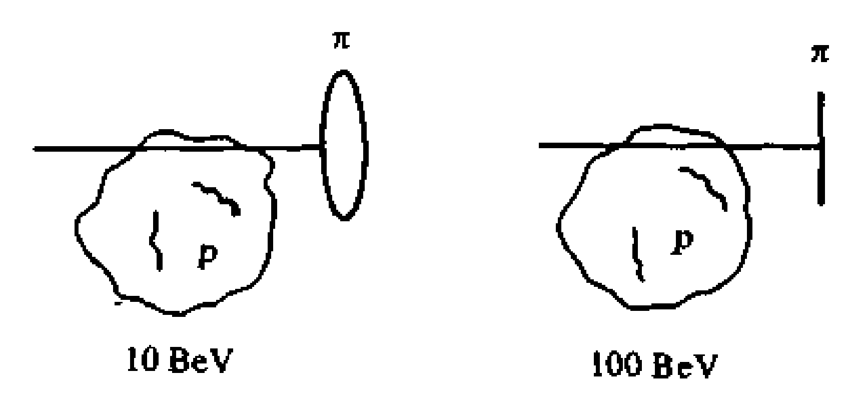


图 2 实验室参考系中，入射能量为 10BeV 和 100BeV，靶质子被激发的 πp 碰撞图解。

图 1a 和图 1b 本质上导致了同样的透射振幅的事实暗示出在图 2a 和图 2b 中，质子在本质上以同样的方式被激发，这就是极限碎裂假定。

虽然上面的讨论假定极限（1）严格存在，然而对物理的适用性来说，我们认为，只要略去对能量的缓慢的依赖关系，例如，人们可用一个常数代替 $\ln(E/M_p)$ 后，极限（1）仍成立的话，这个讨论仍然有效。请参看文献〔1〕中第 19 节。

在最近两年中，陈（Cheng）和吴（Wu）⑤在关于费曼图的极限的深入研究方面取得了有意义的结果，该结果令人惊奇地肯定了前面描述的物理图像的普适性。我想吴教授在今天晚一点的时候会讨论他们的这一工作。

近来，邹（Chou）和我讨论了在极限碎裂假定的框架下自然得出的许多概念，特别是有关碎裂比的概念和有味道、无味道碎

裂的概念似乎显得特别有意思。

4. 关于强子几何尺寸的一些特殊考虑

上述物理图像把一个强子想象成为一个有许多自由度的广延客体，即一个微滴，弹性散射被描述为两个微滴互穿而过，经过一个衍射过程彼此散开。在此过程中，微滴有时被激发，然后分别碎裂。

然而，认识如下基本点是重要的，即强子的行为完全不同于任何我们体验过的小液滴，比如一个小水滴或核物质的小液滴。对于水和核物质的微滴，它们的碎裂会导致更小的微滴产生，例如核裂变中所发生的情况，而在强子碎裂过程中，每一块碎片都与原来的强子近似地有同样的大小，因为一切强子都大致有 $r_0 \sim 0.7\times 10^{-13}$厘米的同样大小的半径。

这个近似普适的半径 r_0 可能是由于空间"畸变"或空间"量子化"(而不是由于产生各种强子状态的强相互作用)引起的吗？我觉得情况似乎并非如此。我们把时空概念从宏观尺度推广到原子尺度，再推广到原子核的尺度，直至 $R\sim 0.1\times 10^{-13}$厘米的范围，似乎与关于轻子的电动力学的最新最精确的测量符合得很好⑦。由于 R 比 r_0 小一个量级，认为 r_0 是由空间的某种"畸变"来确定似乎是不大合适的。

假如我们接受了这个诚然有点不太令人信服的讨论，那么我们就必须寻找强子的某种模型，这时微滴的状态用强相互作用描述，该模型能给出微滴的一个近似最佳半径 r_0。较大的微滴当然会破碎形成有最佳半径的微滴，可是较小的微滴(即其线度小于 r_0 的微滴)采用在原先的物理图像下我们所不熟悉的某种方式也"破碎"成有最佳半径 r_0 的微滴。我相信只要用微滴几率振幅的图像(即微滴的波动图像)，最后一点是可以理解的。如何给

出有这种性质的微滴模型的例证是很值得思索的问题，也是我希望继续探讨的问题。

参考文献：

① J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang and E. Yen, *Phys. Rev.* 188, 2159 (1969).

② G. Cocconi et al. *Phys. Rev. Letters.* 11, 499(1963).

③ T. T. Wu and C. N. Yang, *Phys. Rev.* 137, B708(1965).

④ T. T. Chou and C. N. Yang, *phys. Rev.* 170, 1591(1968); 175, 1832 (1968); *Phys. Rev. Letters* 20, 1213(1968). 该物理图像在 N. Byers and C. N. Yang, *Phys. Rev.* 142, 976(1966)一文中已做过讨论。

⑤ H. Cheng and T. T. Wu, *Phys. Rev.* 1D, 2775(1970)和文中引用的论文。

⑥ T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Rev. Letters*, 25, 1072(1970).

⑦ 参看S. J. Brodsky 最近的回顾 in *Proceedings of the Daresbury Conference*, September, 1969, Daresbury Laboratories, Liverpool, England.

我对一些社会问题的感想(1970)

本文是1970年10月3日作者在纽约市香港学生联谊会的一篇演讲。原文由该会据录音带整理以后，刊载在1970年12月《纽约香港学生月报》第12期上。收入《读书教学四十年》时，为通顺起见，作者作了极少数的字句修改，无碍原意。

香港学生联谊会各位会员、各位来宾：

很对不起，我不会讲广东话，所以我只可以讲我的不完全纯粹的国语。我是研究自然科学的人，对于社会科学的问题没有什么研究，也没有什么心得。所以我今天跟大家谈话，并不是以专家姿态。对于中国城跟中国在美国的侨胞的许多问题，我也没有什么真正的了解。只是最近这几年常常在英文报纸上看到偶然的消息，讲到中国城许多问题。譬如说最近有好几万中国同胞移民到美国来。报纸上有时提到住房子有问题，而房租也非常之贵。另外还有是移民刚到这地方来，常常有很多的找工作的困难。其中的内幕是什么我不知道，而我也不知道从什么地方可以得到更正确的消息。另外我想现在在美国的中国人人数相当多，不与中国城有密切关系的中国人也有几十万人。这许多跟中国城没有每天关系的人，似乎跟中国城之间完全脱节了。我常常想到，有时候我也跟我的朋友们谈起，这是一个缺点。因为我想在

学界、在职业界做事的人，也许在某一方面可以尽一些力量，帮助一些新移民到美国来的侨胞。我所以有这个感想，也因为我看到了一些别的民族的人到美国来曾经有过同样的困难和他们处理这些困难的办法。我曾经去过一次在纽约的很大的宴会，是Friends of the Weizmann Institute所组织的。Weizmann Institute是在以色列的一个很杰出的科研组织。这个组织需要募捐很多的钱。所以他们每年12月中在纽约有一个很大的宴会。我在那里见到几千犹太人对犹太社会组织的热忱，颇有感触。给我特深印象的是Weizmann Institute前任主任告诉我，有一回在英国，他跟一位很大的百货公司的老板(犹太人)谈话。那位老板告诉他说，"在一九五几年的时候，以色列有一些产品要在世界市场上去卖，我们的百货公司为了帮助以色列工业的发展，虽然知道这些产品在那时候不能真正在世界市场上竞争，但愿意冒险推销这些产品。"那位主任听了这些话以后，当然有很多的感想；我听了以后有更多的感想。

两个月前有一天晚上我接到一个电话，是袁葆生先生打来的。我以前从来没有听到过袁先生，从来也没有见过他。他跟我说在纽约现在有香港学生联谊会的组织，这个联谊会很希望在美国的中国学术界的人士能对中国城的问题发生更多的兴趣，他问我能不能来跟大家谈谈。我说我愿意来。不过事实上，我已经跟大家讲了，我并不是研究社会问题的专家，而我对于中国城里的许多问题，只有一些皮毛的了解，并不真知道实际的问题。所以今天跟大家见面，也许应该当作是一个机会，使得我对于中国城里的许多问题，跟一般侨胞的问题，可以有进一步的认识。至于我自己所讲的只是一些零碎的感想，希望大家能够原谅我没有充分的材料。

我因为自己工作的关系，在最近这些年曾经跑到世界各个地

方。前几年我到东南亚旅行，先到澳大利亚。在那里我才知道在19世纪的时候，澳大利亚有过一个新金山。那时候有很多中国人到那地方去淘金，像当初到旧金山来淘金一样。金子淘完了和金脉断掉了之后，许多在澳大利亚的中国人就留在那地方，也像当初在旧金山附近淘金的许多中国人留下一样。澳洲的白种人对于中国人有很多的成见(跟在美国是一样的)。举个例子讲，中国人不淘金子之后许多人去做木匠的工作，做了很多的桌子、椅子、家具。结果澳大利亚的政府通过了一条法律，说凡是中国人的工厂制出来的木具，必须在它们上面打一个印子说是中国人制造的。目的当然是使得一些白种人看了印子之后不去买这些家具。这个法律是一直到第二次世界大战以后才取消掉的。我猜想大概是因为澳洲对中国人的歧视非常厉害，比美国对中国人的歧视还要厉害，所以今天在澳洲中国人的百分比非常之少。

从澳大利亚我到印尼首都雅加达去住了二三天。那时候是印尼发生流血事变以后不久。我在那地方碰见一位新闻记者。我问他那里是不是有个中国城。他告诉我："是有一个，不过你如果要去中国城吃饭的话，最好是坐一部的士去，而请那的士在门口等着你。因那地方的治安不大妥当。"等到我坐车到了雅加达中国城看了一下以后，才了解到他所讲的是怎么一回事情。雅加达的中国城相当大，里头有很多的铺子，看起来有点像纽约的中国城，不过面积比较大。本来是很繁华的地方，每天晚上街上人很多，而买东西的人也很多。可是自从流血事情发生以后，所有的铺子晚上六七点钟都在门口放下了铁门。假如有几个铺子还开着的话，他们都只是开一个小门。我在其中一个饭店吃了一顿晚饭，很高兴发现那店主人会讲普通话。跟他的谈话给我最深的印象，就是他心里似有很大的恐惧。在半开的铁门间，在半明半暗的街灯下，我感觉到了笼罩在几百万在印尼居住的中国人头上

的恐惧！在希特勒的时代，在德国的犹太人要带一个黄的星。今日的中国种族的人在印尼也必须在家门口放一个标志。雅加达以后我又去了邻近马来西亚的新加坡。那次旅行所给我的印象，就是整个东南亚许多国家都在有计划地把中国人排挤出去。

中国人受排挤的事并不起源于今日。几年以前，我看到一篇文章提到中国人过去在旧金山所受到的歧视。作者最后说，“事实上你听到、读到愈多关于中国人在加州的经验，你就会愈有倾向做出以下的总结：在美国各民族中，除了印地安人以外，没有别的少数民族曾受到中国人所遭遇到的无理性的迫害。也没有另外一个少数民族今天能像中国人一样少有这些迫害所产生的心理损伤。”(In fact the more you hear and read about the experience of the Chinese in California, the more you tend to conclude that no minority in the United States, the American Indians excepted, has endured such wanton persecution. Nor, very likely, has any group come out of it with so little psychic damage.)①

他这两句的前一句我想没有人会不同意，但我们同意他最后一句话吗？在美国的中国人果然没有“心理损伤”吗？中国人，今天的中国人，对历史所给我们的教训有正确的认识吗？对自己的经历有健全的心理反应吗？我以为这些都颇有商讨之余地。

我觉得中国传统的社会制度、礼教观念、人生观，都对我们有极大的束缚的力量。等我先从最简单的而也是对我最切身的方面来讲。在石溪纽约州立大学有很多中国同学，许多是台湾来的，许多是香港来的，还有从新加坡来的。很多人念书的成绩很好，当然也有成绩不太好的，不过有一个普遍的现象，就是中国学生比一般非中国学生来得守规矩，中国学生比一般非中国学生对于念书来得比较认真。教授说这许多题目是有意义的，多半的中国同学就下力量要把这些题目做出来。许多学问是集腋成裘的。

一块块砖砌起来可以砌一个大房子。中国的传统方法要大家都守规矩，按部就班地使得很多的学生能够达成造一个大房子的地步。假如他们当初不受到这种训练，不受到这种传统影响的话，那么他们不容易达到这样能建造一座高楼的地步。不过这种传统的方法也有很大的一个缺点。这很大的缺点就是中国学生一般比较胆小。我所谓胆小的意思是指不敢走向新的方向。假如有专家说事情是这样子的，那么通常一个中国学生比较不敢说："我不相信你们所讲的这些，我要自己提出一个新的建议。"这种守规矩的态度只不过是个很小很小的例子。总体讲起来中国的"约束人的制度"是中国传统的一大特点。

再举一个例子讲，大家都知道，中国的传统家族观念是非常重要的。这个家族观念事实上也就是要约束一个人到一个固定的系统里去，这个系统是家族系统。进这个系统里去有很多好处，因为它给个人以安全感。事业上不成功的话，还有碗饭吃。如果一个人要自己走出去，去闯天下的话，当然有不安全的地方。传统的中国把每一人都放在这家族的制度里，正是约束个人的一个表现。

我再讲另外一个例子。我们都知道美国社会每一个阶层，都有喝太多酒的问题。通常中国城里没有酗酒的问题。至少中国城里酗酒的问题比西洋社会要少得很多。可是相反地，中国人，一般的中国人，不管是在或不在中国城里，都对赌博比较发生兴趣。我以为喜欢赌博而不喜欢酗酒，也是另外一个刚才所讲的特点的表现。因为赌博有固定的一组规则，你照着这一组规则，也许会赢很多的钱。赌博的人在一定规则内，希望求到某些满足。相反地酗酒的人是求个人在约束以外的解放。赌博是求制度里面的个人满足，酗酒是求制度以外的个人解放。

我再举一个例子，中国画在艺术的传统上有其辉煌的历史。

中国画的意境和西洋画截然不同，其中一个大分别就是在个人与自然的关系上面。中国画极少以人为主。意境要求人融化在自然之间。比较起来西洋画几乎是在歌颂人与自然之间的冲突。

讲到宗教，西洋宗教要把人与世界的关系化成个人与上帝之间的关系。虽然上帝是主，在人与上帝的关系之中，个人却是唯二的主角中的一个。相反地，中国的传统的礼教把个人只当做是整个系统中的一个渺小的一黍。西洋宗教观念中有 Sin 的观念，是上帝与个人间要解决的问题。中国传统制度中类似的只有耻与罪，都是以固定的社会系统为中心的观念。罪与 Crime 的意义相近，与 Sin 的意义不同。

中国传统的制度对个人的约束使得中国人缺少大胆进取的精神，缺少反抗的动力。举个例子讲，最近这几个月，有一本新书出来，得到很多书评，一般都讲得很好。这是一个日本人 Bill Hosokawa 写的，书名 *Nisei*——就是“二世”。因为日本人自己称在美国生长的第二代为二世。他的书是贡献给 Issei 的。Issei 就是一世。这书讲在美国的日本人的历史，特别是对于日本人在第二次世界大战时候被关在集中营的事情有很详细的研究和描述。这书起源于 Japanese American Citizens League 于 1962 年所组成的 Japanese American Research Project，专门研究日本人当初移民到美国来的历史。组织成功以后，很快就得到一些机关如 Carnegie Corp. 的经济上的援助。这本书只是许多研究工作的成果之一。是不是中国人在美国的历史没有日本人的重要呢？是不是中国人在美国的经历没有日本人的那样值得记载呢？如果回答是“不然”，那末为什么中国人没有类似的详尽的历史呢？为什么我们只能常常在报纸杂志上看到阿 Q 式的自欺欺人的争面子的报导呢？

中国人受了传统的影响，有一个观念就是算了，又何必要找

事情呢！这是一个万分错误的观念。我们看犹太人在第二次世界大战的时候，有600万人被杀死掉。今天几乎没有一年没有几十本新书，来研究他们所受到的残酷的命运。我必须要说，这许多书很多都是犹太人写的。但并不见得犹太人所写的历史对犹太人讲得都是全好。譬如那时候犹太人有许多为了保存自己的性命出卖了很多的朋友。一个犹太人描述犹太人的悲惨的命运，如受压迫下的可耻的行动，是需要一些勇气的。一个在美国生长的日本人攻击美国对日本人的待遇也要有勇气。中国人似乎缺少这些勇气。是不是这就是前面我所提到的文章中的所谓没有“心理损伤”呢？

注：

① *Holiday* 杂志(Philadelphia)1961年4月号；Vincent McHugh：San Francisco：Little China，第100页。

对中华人民共和国的物理的印象

——与美国《今日物理》编辑卢伯金的谈话(1971)

这篇访问译自1971年11月的Physics Today杂志。访问者是该杂志编辑G. Lubkin(卢伯金)。中译文载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年。译者甘幼玶、黄得勋。

前不久杨振宁到中华人民共和国作为期一个月的访问,最近刚回美国。据他称,1966年文化大革命开始前,那里的高能理论物理学家十分活跃。他获悉,1965或1966年间,中国的理论物理学家发展了一个层子理论,该理论与默雷·盖尔曼(Murray Gell-Mann)和乔治·兹外(George Zweig)1964年所提出的夸克理论颇类似。

杨执教于石溪纽约州立大学,因为对宇称不守恒的研究,他与李政道一起分享了1957年度诺贝尔奖金。

在中国访问期间,杨在上海参观了复旦大学、生物化学研究所和生理研究所,在北京参观了北京大学、清华大学和原子能研究所。此外,他还访问了工厂、医院,作了一些讲演,并且与周恩来总理共进晚餐。

层子理论和夸克理论一样,里面有三种基本粒子。此理论主要是由北京物理研究所(和其他各研究所一样,该所也是科学院的一部分)的基本粒子小组发展起来的。(本书作者1985年注:

此句不正确。层子理论是由原子能研究所、北京大学、数学研究所和中国科技大学合作发展起来的。）杨会晤了该小组成员李炳安和何祚庥。这小组成员的年龄大多在35到40岁左右。他发现他们中好些人很有才华，对国外的工作也相当了解。去年文化大革命结束后，他们恢复了研究工作。

杨说，原子能研究所、物理研究所和北京大学物理系三个单位的理论小组地点相距不远，他们的成员一直在相互交换意见。

加速器

中国没有高能加速器，但低能加速器是有的。在原子能研究所，杨看了一台最近经过改装的14-MeV质子回旋加速器，还看了一台小的范德格拉夫（Van de Graff）加速器和一个12-MW（原先是7-MW）的核反应堆。他了解到，这个反应堆正被用来进行不少中子研究。（包括核物理和固体物理两方面）这些加速器和反应堆是50年代后期苏联帮助建造起来的。

在清华大学，杨参观了几个电子车间，看见正在装配的定标电路及其它电子设备。人们告诉他，目前的电子设备几乎全是中国自己制造的。

中国正在考虑建造高能加速器的可能性，而且在考虑，若一旦着手兴建，应该建造何种类型的。杨说，中国的物理学家有信心，不管决定建造何种加速器，他们都会成功。这和50年代的状况形成鲜明的对照，那时中国人在技术上并没有这样的信心。

去中国之前，杨的印象是，过去12至14年间，工业产品并无多大进步，但他很快就修正了他的看法。他说，在数量上，确无大的进展，钢产量就是个例子。然而，今天的工业产品复杂得多了，比如，中国现在正在制造功率很大的电机（目前正在大批生产125-MW电机）和水压机。但是，他说，总体说来，中国仍然是工

业落后的国家。

杨感到，虽然中国的物理学家正在热烈讨论高能加速器，他们对建造重离子加速器更感兴趣。但是这些讨论尚未达到十分成熟的阶段。

中国物理学家非常关注加速器设计的新动向。他们询问了美国国立加速器实验室以及欧洲的 CERN 的交叉存储环的情况，问及有关高能和低能核物理研究方面的问题，当然还问及了杨本人的研究工作。他们也问及固体物理的研究，而且对低温物理，尤其是低温物理在加速器设计上的应用，表现了极大的兴趣。

杨发现，这些物理学家总的说来消息是灵通的。他们收得到美国刊物，但要迟三四个月，杨估计他们也收得到俄国刊物。

原子能研究所的科学工作由物理学家张文裕主持。1956 年以前，张在普林斯顿和普渡。他现在的职位是革命委员会副主任。杨解释，中国的每一个组织——研究所、学校、公社、商店等等——都有一个发挥行政机构作用的革命委员会。该研究所革命委员会主任是一位姓郑的军人。

杨发现他所访问的其它组织也有类似的人事安排，开始时看到这么多军人在负领导责任，他感到奇怪。但中国的军队不同于许多其它国家的军队，它基本是国民的一部分，这一部分组织好、纪律好、装备好。

北京大学共有 20 个系，其中理科有 7 个系。物理系在北大是个大系。1966 至 1970 年间，北京大学并不发挥我们所理解的教育机构的职能。但它于 1970 年重新开始招收学员，去年录取了 2800 名新生。

北京大学物理系有一个高能理论小组。组长胡宁，50 年代初曾在美国。该系显然比美国相应的系更趋于应用科学(比如强调半导体的研究)。该系有一位专家，名叫黄昆，是第二次世界大

战期间杨在昆明西南联大的同屋同学。26年前杨离开中国，追随恩里科·费米(Enrico Fermi)学物理，此后，两人从未谋面。

物理学与工厂

黄昆曾经在英国逗留，他与马克斯·玻恩(Max Born)合作写过一本关于晶体的有名专著。他现在领导一个人数众多的理论物理学家小组，研究半导体理论。但他同时又到一间工厂工作。这符合中国将教学、科研和生产三者结合起来的目标。杨说，为了达到这一目标，大学或者与工厂建立非常密切的联系，或者自己兴办小工厂。在这些工厂里，教授、学生与工人一起劳动。

黄告诉杨，他过去只在黑板上画图。现在尽管他自己动手还不熟练，但他懂得了设备是怎样制造出来的。他在工厂里给工人和学生上课，解释他们实际操作中所内含的理论。杨说，这些背景很不相同的人结合在一起，互相帮助，学习尚未掌握但有能力学懂的知识。对此方法，黄充满热忱。

杨说，有的研究所也和工厂挂了钩。他觉得高能物理学家并不在工厂里劳动，但半导体物理学家则和工厂常有联系。

杨感到，美国的大学可以借鉴中国的经验，他并且建议教育家和大学行政管理人员去访问中国，研究中国的教育改革。他说，美国这里也有一个趋向更实际、更密切结合社会问题的运动。这种趋向与中国的方法一致，尽管“在他们那里执行的彻底程度会吓这里的人一跳”。

中国的精神

杨注意到，中国仍是个物质财富贫乏的国家，尽管和他生活在那里的时候相比已有天壤之别了。然而，中国具备一种美国所缺少的精神和纪律。尼克松总统宣布新经济政策时，要求美国人

民作出自我牺牲，厉行自恃，克勤克俭。在中国，杨说，这种精神理所当然地被人们作为社会的基本信条来奉行。

当杨得悉其父病重在医院，随后又听说美国旅行禁令已被解除之后，他便决定访问中国。他与父母曾一直有信件和电报往来。他在巴黎获得签证，于7月19日飞往上海，在中国逗留至8月17日。

在周恩来总理为他举行的宴会上，大约共有25位客人，其中包括15位科学家。但席间3小时的讨论及宴会后2小时的谈话，与科学几乎完全没有关系。周说他想多了解一点有关美国的情况，接着便询问杨关于学生运动、大学改革、黑人运动、失业、围绕选举的政治气氛、美国对日本的态度等等问题。

有人认为，周的邀请是尊重科学的表示。杨不同意这种解释。他说，科学在中国从未受到轻视，尽管好些科学家曾被批评为想得到特殊待遇。杨说，在美国，整个社会目前存在一种反科学的态度，但在中国却不是这样。他感觉到，中国人相信科学是重要的，能造福人类，因此中国应该促进科学发展。这样一种态度基于毛泽东主席的一条名言："中国应该对人类有较大的贡献。"杨认为，这就是说，中国尤其应该通过科学的发展为人类作出贡献。

"乍听起来不切实际，有点清教徒和童子军的味道。中国社会就是那样子。是一个有目标的国家，有普遍的信念，认为人应该有道德。"也许这种想法被灌输入每个人的头脑，正因为中国缺乏物质财富。假如有人问50年后中国还会不会实行这种想法，杨说，这在今天是题外话。

为人类作贡献的态度是支持高能物理这样深奥的领域的理由之一。杨注意到，另外一个理由是科学发展能够给技术带来好处。杨举出生物化学研究所的例子，他在该所会见了几位1965

年参加合成胰岛素工作的科学家。

50年代末他们开始这项工作的时候，中国一无经验，二无需要的基本化合物。但是他们感到，除非中国动手干起来，否则将毫无希望。凭着这一条经验，现在中国正在生产许多化合物，特别是酶，这是中国原先所没有掌握的技术。

戴高乐式的访问(1972)

本文是作者应 Newsday 的编者之邀，于 1972 年 2 月 21 日在该报上所发表的一篇文章。中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985 年。译者甘幼玶、黄得勋。

昨天晚上，尼克松总统到达中华人民共和国，将与毛泽东主席和周恩来总理举行会谈。这次会谈可能取得什么成果？几个月来人们对此有种种猜测，但甚少一致意见。

从历史的观点来看，我相信这次会谈对国际形势将产生深远的影响。显然，这种看法是安排这次访问的两国领导人都同意的，但美国大众对此点似乎认识不足。一些新闻分析专家甚至倾向于认为，整个事件只不过是大选年玩的把戏。这种说法我们只能认为是缺乏历史观的表现。

我去年曾访问中国，于 7 月 20 日到达上海。那时正当尼克松的访问计划公布几天之后，消息轰动了全中国，人们到处在谈论这件事。有人告诉我，戴高乐将军原计划访问中国，但在预定日期前逝世了。大家似乎都高度赞赏戴高乐将军的远见卓识。好几次我听说，他逝世时，毛主席给戴高乐夫人发了唁电："谨对他，反法西斯侵略和维护法兰西民族独立的不屈战士，表示诚挚的悼念和敬意。"很清楚，中国人民佩服戴高乐。而且他们佩服毛对戴高乐的历史贡献所作的高瞻远瞩的评价。我发现，在中国所

听到的有关尼克松未来访华的谈话，表面虽是强硬的，里面却暗含着对他的见识的赞佩。

中国历史悠久，而且她一向看重写历史。从毛主席的“选集”和他的诗篇中便可以看出，新中国的诞生与成长在人类历史上的意义是他旦夕不忘的。1963年1月他写了一首题为《和郭沫若同志》的词，里面有这样的词句：

一万年太久，
只争朝夕。

即将进行的会谈中双方长远观点的讨论无疑是关系重大的。因为在高层制订政策，正如人类其他创造活动一样，是长远观点来最后决定整个事业的发展和成绩。

美国的想法已经有了极大的转变。50年代杜勒斯坚信，共产主义在中国是短暂的。艾森豪威尔的国务卿说，“我们为了我们自己，为了我们的盟友，为了中国人民，应促成它的消亡。”结果证明，此话错得多么彻底。但是，美国要经历了卷入越战的悲剧——如此违背美国立国精神的卷入，才能摆脱这类思想的残迹。

可是，从一个妄想中醒悟过来并不意味着就具备了与现实打交道所必需的长远观点。尼克松总统采取主动行动到中国去的真正理由，是为了获得这种长远观点，为了筹划越战结束以后美国的政策。在最近接见《时代杂志》的编辑，谈论这一次旅行时，他说，“……应从缔造未来的观点来认识这一次旅行。可能深受其益的，不是本任总统，而是5年、10年或者15年以后的人。”

5年、10年或15年以后，美国、中国和苏联之间的关系在世界上将显得愈来愈重要。在我看来，美中之间长远利益的冲突比美苏或中苏间的冲突要少。尼克松总统即将作的北京和莫斯科之行，也许不会立刻给国际紧张局势带来非常了不起的缓和，但

肯定会使三国领导人更加互相了解对方的问题和愿望。仅仅这一点，就值得努力安排这两次旅行。

最近访问过中国的人几乎都认为，了解新中国是激动人心的经历。我毫不怀疑，尼克松总统和夫人以及他们的随行人员一定会有同样的感受。中国仍然贫穷，缺乏物质财富，工业技术也十分落后。但前往访问的人将为其精神所感动。他们会发现，她是最简单，而又最复杂；最年青，而又最古老的国家。

我的看法也许不对，但我相信，杜勒斯式的神话一旦破灭，一个知道美国历史上的清教式的生活的人，一个知道美国向来同情勤劳和有自立精神的人，一个正面对美国当今存在的巨大的社会问题的人，对于中国的新精神便会产生尊重、同情和佩服之情。这也许正是台北和莫斯科对尼克松北京之行在上意识和下意识里所存在的最深的忧虑。

当代基本粒子物理中的某些概念(1972)

本文是作者于1972年9月在意大利特里亚斯特庆祝狄拉克70岁诞辰会议上的讲话。原载杨振宁《选集与后记》, Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。译者胡中琳。

多年前,当我还是一个中国学生时,读过爱丁顿(Eddington)和琼斯(Jeans)的关于物理学新发展著作的中译本,当时的感受至今难忘。他们在书中描述了20世纪物理学中从狭义相对论到广义相对论和量子力学各种概念的革命。我不能说当时懂得了菲茨杰拉德收缩、玻尔原子及不确定原理的意义和必要性,但是对我来说不可能不强烈地感受到洋溢在字里行间的兴奋和激动。显然,它打开了一扇探索宇宙结构奥秘的新大门,立刻充满了光明与黑暗,启发和困惑。我无法说它的魅力对我后来专业的选择有多少影响,因为我不知道。但是即使今天,当我回顾起多年前的经历时,我仍然感受到那使人不能自制的神秘激动。

我告诉你们这些是因为我想说:昨天晚上我荣幸地听到了这整个进程中的创建人之一在建立人类对自然的概念的那些革命年代中的亲身经历,为此我感谢他和会议的组织者。

在关于物理工作者对自然的概念的谈话中，狄拉克(Dirac)不止一次地要求我们抛弃过去的偏见。他是要求我们抛弃传统的时空概念吗？他是要求我们改变关于场的概念吗？或者他是要求我们引入一些新的对称性或抛弃一些旧的对称性？对这些问题他没有给我们提供任何确定的答案。但是我们知道，为了寻求物理学中新概念发展的线索，有两个重要的指导原则。一方面，我们必须永远扎根于新的实验探索。离开这个根基，物理学将有陷于纯数学演算的危险。另一方面，我们决不能总是被符合当时接受为实验事实的要求所束缚。依赖于纯逻辑和形式的推理，是在这个领域许多重大概念发展的基本要素。也许没有哪一位物理学家的著作在这一点上比狄拉克的著作展示得更清楚的了。在他的所有著作中，无论重要的或不太重要的部分，总是坚持形式上的完美和逻辑上的无缺，使他的论文具有独特的创造性的色彩。狄拉克本人曾说完美是唯一的要求。如果某些实验否定了一个完美的想法，就让我们忘掉那些实验吧。

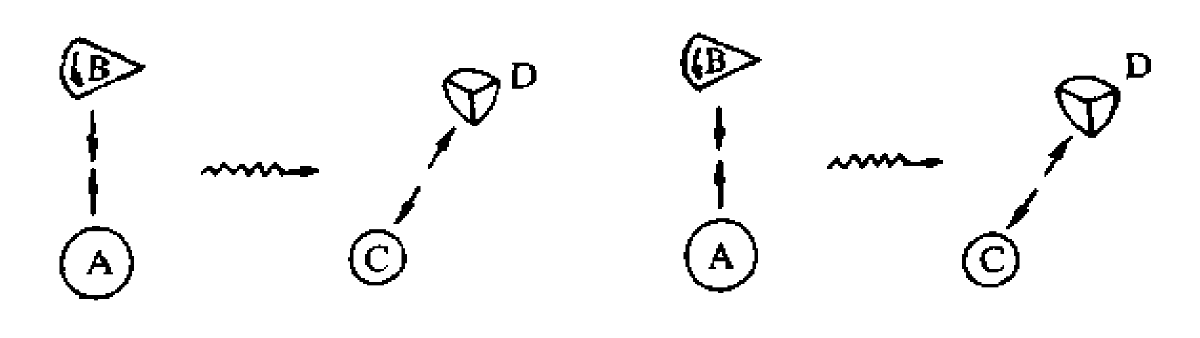
显然这是爱因斯坦(Einstein)在创立广义相对论后说理论无须实验证实时的感受，也一定是狄拉克面临解释负能态的必要性而幻想出具有空穴的无限深海洋的离奇想法①时的感受。

比较一下这个讨论会和另一个我刚参加过的在芝加哥附近的巴塔维亚举行的高能物理会议，便可对以上讨论的物理概念发展的不十分一致的两个准则得到一个生动的理解。表面上，两个会议的参加者极少重叠，使用的学术语言极少重叠，最感兴趣的那些课题也极少重叠。然而，如果坐下来做一个远程的观察，忘却巴塔维亚新实验室中的拥挤忙碌气氛，把注意力从神秘的新的大横动量事件的走廊讨论中转移开，忘掉 K 介子衰变到轻子的新原始数据，如果做一个更广范围的评议，很清楚在进展细节的噪音水平之上，显然这两个会议在感兴趣的方面实际上有不小的

重叠。正是在这种对普遍概念进行观察的精神下，现在我愿意讨论一些近十年左右已经被广泛地讨论过的物理学中的发展。

我认为在过去十几年中，最激动人心的是 1964 年由克里斯坦桑(Christenson)、克劳宁(Cronin)、费奇(Fitch)和特里(Turley)等人发现[2]的非常弱的 CP 守恒的破坏。这一发现的精确意义能从下面对算符 C(电荷共轭)，P(宇称，或反演)，T(时间反演算符)意义的描述[3]看出。考虑反应 R，如图 1 所示，它表示过程

$$A+B\rightarrow C+D$$



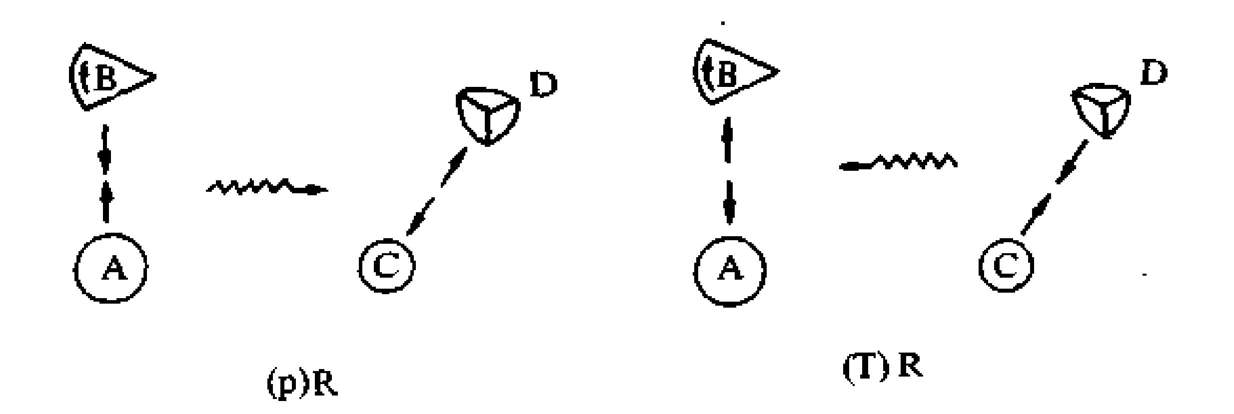


图 1　C，P 和 T 算符

反应 R 描述过程 $A+B\rightarrow C+D$，这里 A 和 C 是球形，B 是一个旋转锥体，D 是四面体。电荷共轭反应(C)R 与反应 R 有相同的动力学，但是所有的粒子都被反粒子置换，(P)R 是反应 R 的图平面反射，(T)R 是反应 R 的时间反演，描述为 $C+D\rightarrow A+B$，注意 B 的自旋方向。

对上述反应可以设想另一反应(P)R，这反应是通过对R在纸平面上反射得到的，如果R和(P)R以相同的速率发生，我们说R和(P)R遵循左右对称定律，或对这些反应P是守恒的。C和T守恒也与此相似。

1956年发现对于弱相互作用P守恒和C守恒被破坏了。这时认为在CP联合作用下对所有的弱相互作用守恒还是存在的。1964年随着在K°衰变中CP不守恒的发现，激起了人们极大的兴趣，导致了一些漂亮的实验。

C，P和T的对称性是与吕德斯(Lüders)，泡利(Pauli)和施温格(Schwinger)等人早在50年代发现的一个定理[④]有关，定理在很弱的一般假设下，认为无论C，P和T单独作用下系统变化与否，在CPT联合作用下系统是不变的。上述一般假设几乎每个物理学家都认为是成立的。由于这个定理，CP不变性的破坏隐含了时间反演不变性的破坏。

P和T不变性的概念，最初起源于几何的考虑。C不变的情况并非如此，正是狄拉克的粒子空穴的想法引起了C不变性。从他的原始文献中可以看出，粒子空穴的概念与复数共轭的数学概念很有关系，由于这个原因，C不变性被认为是一个代数的概念。引入复数作为物理定律中代数的基本元素是量子力学给物理学带来的新概念之一。因为这导致了不变的C。我们要问是否有其他的代数可被引入物理学？是否有其他的对称性来源于更复杂的代数？

这两个问题的答案很可能都是肯定的。一方面，从数学概念方面讲，有三种相联的可除代数(即一些代数其中加减乘除规则满足通常的分配律和结合律，加减满足交换律，并且对这些代数$ab=0$意味着$a=0$或$b=0$)。它包含了实数作为子代数。这些就是实数、复数和四元数。(在这些相联的可除代数中四元数还

没有以任何基本方式引入到物理定律中来。)这里我们注意到从复共轭概念(即在复数代数中 $i \leftrightarrow -i$)推广到四元数代数就是在三个虚轴 i, j 和 k 之间的转动操作。存在很多这样的操作，它们构成一个 SO_3 群。

另一方面，从物理概念的角度，迄今为止只存在具有唯象基础的 SU_2 对称性，这一对称性在强相互作用中很精确地被观察到。从根本上说这种对称性描述了中子和质子间明显的相似性。它有着三维转动对称性的数学结构。这正是上述的群结构，是复共轭概念的数学推广。所有这些指出了如下所示的可能性。

代　数	保持代数不变的数学操作	物理对称性
复　数	复共轭	C
四元数	i, j, k 的转动	SU_2

SU_2 群是由四元数纳入物理定律中而产生的代数的对称性。以前曾经讨论过这种可能性[③⑤]，但是所有在这个方向上的努力至今依然没有成果。然而我还是大胆地猜测，自然界确实利用了这种可能性，只是物理学家还未找到正确的途径把四元数引入基础物理中来，以解释质子与中子之间的相似性。

在60年代曾被广泛讨论过的另一种重要的对称性是 SU_3 群。发现粒子多重谱有很多惊人的系统性，使 SU_3 成为一个非常有效的概念，尽管它破缺得很厉害。我个人的偏见是，如果我们最终了解了 SU_3 群，它将会是一个与 SU_2 立足点完全不同的认识。

一个有趣的问题是 SU_3 群是否也可能起源于代数。如果我们考察一下超过四元数的好结构的代数，那就是八元数〔在八元代数中，有七个 -1 的根，它们在实的线性变换下是相互独立的。

它是除了实数、复数、四元数之外仅有的可除代数，是一个“交替”代数。对于一个交替代数，$(xy)z-x(yz)$对 x、y、z 的变换是反对称的。从此定义可以推断在交替代数中 X^n 与组合的次序无关，就是说一个交替代数对任何元素的幂总是可组合的。对一个可除代数，如果 $xy=0$ 意味着 $x=0$ 或 $y=0$]。使八元数代数不变的实线性变换群是 G2，是第一个例外的李群。很不幸，G2 不是 SU_3。

如果我们把注意力从对称性上转移开一会儿，我们将看到，在最近五六年中强子物理已经历了非常有趣的发展。感谢在高能加速器上从事弹性和非弹性反应研究的大量实验工作，使这个领域中所做事情的发展速度大大提高。由于时常产生大量粒子和由于像出射粒子多重性这样一些量的大的涨落，使得高能强子一强子碰撞的描述必然是复杂的。令人吃惊的是，实验结果也显示出了很明显的普遍规律。我的看法是这些规律指出了一个能提供强子结构物理描述的方向。这个描述表明：强子在高能碰撞过程中相互穿透，量子数或纵向动量或能量在质心系中的交换很小。然而它们被联合激发到动力学的激发态，然后分裂成各种出射粒子，形成两束出射喷注。（动力学激发态是具有各种不变质量态的叠加，由最低不变质量组成的部分接近一个具有较低入射能量的极限态，由高的不变质量组成的部分接近一个具有较高入射能量的极限态。）在这一互相穿透过程中，入射粒子的几何大小起着基本作用。我们相信所有强子的直径都接近 1.4×10^{-13}厘米。

上面的概括描述是与高能弹性、非弹性碰撞过程中的主要特点一致的。对弹性碰撞，可获得弹性 $e—p$ 散射与弹性 $p—p$ 散射之间的一个无参数关系⑥。这一关系导致了在弹性 $p—p$ 散射角分布中出现一些凹陷的预言，此预言最近在 CERN 已被实

验证实。对非弹性碰撞,一般描述得到了有限分裂[7]的假设,此假设在近几年中也得到了广泛和精确的实验的支持。

强子的基本尺寸取决于什么?为什么它们具有相同的数量级?为什么强子在几何上不能分成较小的强子,像我们在物理中熟悉的水滴、核物质等微滴那样呢?这些是我们不知道如何回答的问题,但是似乎相当清楚,我们是在处理一个无限维自由度的系统,这系统中有一个真空。在真空之上,从能量而言,有各种激发态(属于这无限维自由度系统),这些态称为强子。对我来说,我们迫切的任务是了解这样一个无限维自由度的强相互作用系统的物理学。

这是一个困难的任务,但也是一个实在的和具有挑战性的任务,幸好我们在物理学其他分支讨论无限维自由度系统的经验,在这里可能有所帮助。

上面列举的强子大小,可能与在这样小的距离上时空结构的某些根本变化有关吗?我相信对这个问题的回答是否定的。轻子在空间线度远小于 10^{-13}厘米时的电磁相互作用已经研究过了,并没有发现时空的几何结构有偏离。

最后我谈谈所谓规范场的概念。从物理上说,这个概念源于一个思想,即物理世界的一些基本对称性应当与每个时空点的不变性概念相联系。具体地,让我们考虑质子和中子的同位旋不变性,它反映了质子与中子的相似性。如果"关掉"电磁场,会有两个完全相似的核子态,选择哪个核子叫做质子和哪个叫做中子可以任意地约定。现在我们如果采取这样的观点,即上述任意约定应当在每一时空点独立地被选择,就将自然地得到规范场的概念。(另一种说法是,如果我使用了一种约定,它不应该限制我的同事在另一个实验室使用任何其他特定的约定。)

在数学方面,规范场的概念是明显地与纤维丛有关的,但我

确实不知道什么是纤维丛。

电磁场是一个规范场。爱因斯坦的引力理论与规范场的概念密切相关，虽然把引力场与规范场等同起来不是一件绝对直截了当的事情。

最近15年，人们反复努力试图引入一个规范场作为强相互作用的一个源，或者唯一的源。这些努力还没有完全成功，但这个想法是很诱人的。我认为它在未来可能起重要作用。

最近五年，起源于温伯格(S. Weinberg)的工作〔和古尔塞(Gürsey)、施温格、萨拉姆(Salam)、华德(Ward)以及其他人早期的工作〕的成果，已经对规范场、电磁场和弱相互作用(并且在某些情况下也包括强相互作用)这些概念统一起来的可能性带来了非常激动人心的进展。我在石溪的同事李昭辉(B. W. Lee)刚刚在芝加哥会议上做了一个报告⑧，总结了这个领域中近两年的广泛工作。除规范场概念之外，还增加了一个重要的新概念，就是场量的非零期望值量子化的概念。我个人认为这些最近的发展是一个重要的方向，但也许一些进一步的新思想尚未找到，以致目前的工作成果仍属于高度不唯一的和不完美的理论。

注和参考文献：

① 一个想法越"离奇"，当它与自然现象的描述相联系时就变得越深刻。我在1959年11月6日布赖恩莫尔学院75周年庆典上的讲话中总结了自己对狄拉克引进负电子海的感受：

> "电荷共轭对称性概念是一个纯量子力学概念，不涉及任何几何概念(如旋转不变性)。它的来源衍生于狄拉克的电子理论，在今天看来，这个电子理论是量子理论融合了相对论不变性要求的逻辑结果。然而狄拉克三十年前所做的电荷共轭概念作为第一个假设仍然是最大胆、最深刻的一步，不能不像第一次引入负数那样重要。随

后，反粒子存在的实验证实，不仅构成了一个最完美、最有力的对称性原理实用结果的阐明，而且它实际上是理论推论成功的一个最令人满意、最深刻的例证。"

② J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch and R. Turley, *Phys. Rev. Letters* 13, 138(1964).

③ *Vistas in Research*, Vol. 3, Gordon and Breach (1968), Lecture by C. N. Yang, October 13, (1965).

④ J. Schwinger, *Phys. Rev.* 91, 720, 723(1953); G. Lüders, *Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Mat—fys. Medd.* 28 (1954); W. Pauli's article in *Niels Bohr and the Development of Physics*, Pergamon, London(1955).

⑤ 请阅我在 Tiomno 报告后的讨论中的发言, Session 9, Proceedings of the 7th Rochester Conference, 1957(the Interscience Publishers).

⑥ T.T. Chou and Chen Ning Yang, *Phys. Rev.* 170, 1591(1968).

⑦ J. Benecke, T.T. Chou, C.N. Yang, and E. Yan, *Phys. Rev.* 188, 2159 (1969).

⑧ B.W. Lee in *Proceedings of the International High Energy Conference at Chicago*, September 1972, to be published.

父亲杨武之

——在杨武之先生追悼会上的讲话(1973)

本文是1973年5月15日作者在上海杨武之先生追悼会上的讲词。原载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年。

父亲生于1896年农历三月二日,在安徽合肥。他早年毕业于北京高等师范大学,后来在安徽安庆第一女子师范学校教了几年数学;我是在那个时期出生在合肥的。安庆那时叫怀宁,所以他给我取名为振宁。1928年以后他在厦门大学、清华大学、西南联合大学、昆明师范学院、大同大学、同济大学和复旦大学担任数学教授先后40多年。

父亲为人纯真谦虚,力争上游,是接触过他的人都有的印象。

父亲给我们子女们的影响很大。从我自己来讲:我小时候受到他的影响而早年对数学发生浓厚的兴趣,这对我后来进入物理学工作有决定性的影响。

1962年父亲、母亲和我在日内瓦会面,父亲向我介绍了许多新中国的建设和新中国的思想。他的话许多地方我能了解,也有许多地方我不能了解,这样,就产生了多次的辩论。有一晚我们辩论了很久,最后我说:"您现在所说的和您几十年以前所教我的不一样。"他说:"你怎么还没有了解,我正是要告诉你,今天我们

要否定许多我从前以为是对的,而实际是错的价值标准。”这一句话给了我很深刻的印象。

近两年来父亲身体日衰。他自己体会到这一点,也就对我们的一切思想和行为想得很多。1971年、1972年我来上海探望他,他和我谈了许多话,归根起来他再三要我把眼光放远,看清历史演变的潮流,这个教训两年来在我身上产生了很大的影响。

父亲于1973年5月12日长辞人世。在他的一生77年的时间里,历史有了惊天动地的演变。昨天收到他一位老同学,又是老同事的信,上面说,“在青年时代,我们都向往一个繁荣昌盛的新中国。解放以后20多年来在毛主席和中国共产党的英明领导下,当时我们青年梦寐以求的这个新中国实现了。”我想新中国的实现这个伟大的历史事实以及它对于世界前途的意义正是父亲要求我们清楚地掌握的。

最后,让我代表全家向华山医院、复旦大学、治丧委员会、上海市革命委员会和全体来参加追悼会的各位表示衷心的感谢。

《*pp* 碰撞的不透明度》(1973)一文的后记

此后记写于 1982 年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989 年。译者甘幼玶。原标题为《[73b]〈能量为 30 至 1500GeV/c 的 pp 碰撞的不透明度〉一文之后记》。本标题为编者所加。

在 1972 年芝加哥会议上，鲁比亚(C. Rubbia, 1984 年诺贝尔物理学奖得主，译注)透露了 ISR 在 CERN 所做的实验结果：*pp* 弹性截面在 $t \simeq -1.4(\mathrm{GeV}/c)$ 处确有一下凹。我和邹祖德欢迎这个消息，因为自从 1968 年以来，几何模型一直预言这个下凹的存在。从一开始，我们就不怀疑几何模型的普遍正确性，但它与实验符合得这样好，还是我们始料所不及的。

也是 1972 年，G. B. Yodh、Y. Pal 和 J. S. Trefil 从宇宙线数据得出结论：在能量非常高的情况下，质子—核子总截面随能量缓慢地增加。1973 年，ISR 的一些实验显示，在能量很高时，*pp* 截面随能量增加。这些实验结果引人注目地证实了 H. Cheng 和吴大峻在 1970 年所作的预言。考虑到这些结果，赵午和我用程函并同时假定散射振幅是纯虚数的办法，在论文[73b]中对 *pp* 弹性散射做了一种唯象的分析。由此而得到的高能不透明度方程

$\Omega(b)$同傅利叶变换$[G_E(k)]^2$符合得很好，G_E是质子的形状因子。

1974 年，F. Hayot 和 U. P. Sukhatme 指出，有办法，而且只有一种办法能使几何模型与总截面随能量增加的实验事实并行不悖，那就是增加下式的 K：

$$\Omega = k[G_E]^2,$$

这是一项极好的建议，随后有关几何模型的计算都按这种办法进行。

赵午是我的研究生。他什么都学得很快。他对我们在1973—1974 年间合写的三篇论文有很大的贡献。我知道，他会成为一个好的高能物理理论家。但我感到，如果他转向加速器设计，则贡献会更大，因为加速器设计没有高能理论那么时髦。令人高兴的是，一切都尽如人意，他现在已是一位年轻的加速器理论名家。

我钦佩数学的美和力量

——《规范场的积分形式》(1974)一文之后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《三十五年心路》,广西科技出版社,1989年。译者甘幼玶。本文标题为编者所加。

1967—1968年,当我考虑规范场概念及其可能的推广(例如分立群的情况或空间本身是分立的情况)这个问题时,我明白了,不可积相因子的概念是非常重要的。一旦我把注意力集中到这一点上,Levi-Civita(列维-西维塔)的平行位移概念事实上就是不可积相因子的一种特殊情形,这一点就变得很清楚了。它使我理解了规范场公式

$$F_{(\mu\nu)}=\frac{\partial B_\mu}{\partial x_\nu}-\frac{\partial B_\nu}{\partial x_\mu}+i\in(B_\mu B_\nu-B_\nu B_\mu) \tag{1}$$

与黎曼几何公式

$$R^l_{ijk}=\frac{\partial}{\partial x^j}\begin{Bmatrix} l \\ ik \end{Bmatrix}-\frac{\partial}{\partial x^k}\begin{Bmatrix} l \\ ij \end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix} m \\ ik \end{Bmatrix}\begin{Bmatrix} l \\ mj \end{Bmatrix}-\begin{Bmatrix} m \\ ij \end{Bmatrix}\begin{Bmatrix} l \\ mk \end{Bmatrix} \tag{2}$$

是相似的。这两个公式之所以相似,皆因(2)式是(1)式的一个特例!理解到这一点,我喜不自胜,得意忘形之状实难用笔墨形容。我因而明白了,从数学的观点看来,规范场在根本意义上是一种

几何的概念。我也搞清楚了，上述公式(1)与薛定谔 1932 年论文中的公式之间的相似性（泡利在 1954 年已察觉到这一点）不是偶然的巧合（参见论文[54b]的后记）。

理解了规范场的几何意义，我便找当时石溪的数学系主任，杰出的微分几何专家 Jim Simons（西蒙斯）商量。他说，规范场一定同纤维丛上的联络有关系。于是，我试图从诸如 Steenrod（斯廷罗德）的《纤维丛的拓扑》之类的书去了解纤维丛理论，但什么也没有学到。对一个物理学家来说，现代数学的语言显得太冷漠抽象了。这是 1967 至 1969 年间的事。

后来，我终于写成了论文[74c]（即《规范场的积分形式》一文），它与不可积相因子的想法有关。我并没有理解，在规范场理论中有必要作全局的考虑，因为我并没有抓住纤维丛概念的精髓（参见论文[75c]的后记）。因此，论文[74c]全是在一个“图”上，即一个坐标系内进行讨论的。论文[74c]所总结的观点，后来在论文[75c]中做了更完整的讨论。

从认识论的观点来看，规范场论的概念是从量子电动力学出现之前的下述代换演变来的：

$$p \longrightarrow p - \frac{e}{c}A \tag{3}$$

后来，建立了量子力学，必须用另一种代换：

$$p - \frac{e}{c}A \longrightarrow -i\hbar - \left(\partial - \frac{ie}{\hbar c}A\right) \tag{4}$$

推广到非阿贝尔规范场则涉及

$$\partial - \frac{ie}{\hbar c}A \longrightarrow \partial - i\in B \tag{5}$$

参见[77e]。这意味着，规范势在数学上就是“联络”。这一点对

我来说，显然是晚得多的时候（正如上面所说，是 1967 至 1969 年间）才认识到的。因此，Mayer（迈耶）下面这段话并不正确：

> 读了杨振宁和米尔斯的论文，就可以看出他们一定明白了规范势的几何意义，因为他们使用了规范共变微商和联络的曲率形式。此外，该文的基本方程将与由更为几何的考虑而导得的方程相符……

米尔斯和我在 1954 年所做的是麦克斯韦理论的推广。我们不懂得麦克斯韦理论的几何含意，因此并没有从这个方向去看问题。

我在论文[74c]中建议，重力方程应该改写成一个三阶微分方程。今天，我比 1974 年那时更相信，这种想法是大有希望的，因为三阶方程比二阶的更自然，况且，爱因斯坦理论的量子化又导致了困难。

我的大多数物理学同事都对数学采取一种功利主义的态度。或许因为受父亲的影响，我比较欣赏数学。我欣赏数学的价值观念，我钦佩数学的美和力量；在谋略上，它充满了巧妙和纷杂；而在战略战役上则充满惊人的曲折。除此之外，最令人不可思议的是，数学的某些概念原来竟规定了统治物理世界的那些基本结构。

纤维丛支持了规范场

——《不可积相因子》(1975)一文的后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年。译者甘幼玶。原标题为《[75c]〈不可积相因子的概念以及规范场的全局表示〉一文之后记》。本标题为编者所加。

研究场论的物理学家必须学纤维丛的数学概念，这一点越来越清楚了。1975年初，我邀请 Jim Simons（西蒙斯）给我和同事们做一系列的“午餐报告”①，讲授微分型及纤维丛。他友好地接受了邀请。于是，我们学到了斯托克定理、拉姆定理等等。学到的东西使我们理解了 Bohm（博姆）—Aharonov（阿哈罗诺夫）实验的数学意义，以及狄拉克的电单极和磁单极的量子化规则。吴大峻和我后来还懂得了深奥而非常普遍的陈省身—Weil（韦尔）定理。我们意识到了规范场具有全局性的几何内涵（不应同物理学家的全局相因子混为一谈）。这种内涵是自然而然地用纤维丛概念表示出来的。

在论文[75c]中，吴大峻和我探讨了这些全局性的内涵。我们证明了，规范相因子给了电磁学一种内在的完整描述。这种描述既不会过份，也不会不足。一旦接受了这一点，该文的其余部

分便只不过介绍了纤维丛的概念而已；这些概念支撑了规范理论物理学中那些含混笼统的观念。

注：

① 国外的大学有一种习惯，在午餐时间邀请某方面的专家讲学或做报告。这种报告一般都是非正式的，可自由参加。译注。

哀悼周恩来总理(1976)

本文原载香港《七十年代》1976年3月号。附有该刊编者按:1月18日,美国东岸各界举行了追悼周恩来总理大会。参加者有华侨、留学生、中国血统的美籍人士和美国人士等1700多人。大会由缪云台先生主持,杨振宁教授致悼词,三位与周总理认识的人士林达光、韩丁和杜波依斯夫人介绍了周总理生平。这里刊出的是杨振宁教授在会上所致的悼词,已经杨教授亲自审订。

周恩来总理和我们永别了。

周总理的逝世是中国人民的巨大损失,也是世界所有维护正义的人的巨大损失。在悲痛之中,让我们来重读《毛泽东选集》中一篇文章里的几句意义深长的话:

> 人总是要死的,但死的意义有不同。中国古时候有个文学家叫做司马迁的说过:"人固有一死,或重于泰山,或轻于鸿毛。"为人民利益而死,就比泰山还重;替法西斯卖力,替剥削人民和压迫人民的人去死,就比鸿毛还轻。

这几句话是1944年9月8日写的,在一篇叫做《为人民服务》的文章里面。

我们相信周总理的伟大就在他的无私的、坚强的、始终不渝的为人民服务的精神。

周总理出生在1898年的旧中国。

那是一个半封建、半殖民地的社会。用鲁迅的话，那是一个吃人的社会。

中国人民被封建主义压迫得透不过气来。

中国人民在帝国主义侵略之下，在中国自己的土地上不能有自己作主的机会。

周总理从青年时代就献身于反对封建主义、反对帝国主义的革命活动。他积极参加了1919年的五四运动。在法国和德国勤工俭学的时期，他于1922年加入了新成立的中国共产党。回国以后参加了北伐战争。1927年他是上海工人武装起义的主要指导人。他领导了南昌起义。他是江西红军根据地的主要领导人之一。他参加了历史性的二万五千里长征。他参加了抗日战争和战后全国解放战争的工作。

1949年毛泽东主席宣布中华人民共和国成立。毛主席说："中国人民站起来了！"任何有血有肉的中国人都会了解这句话的历史性的意义。

周总理从中华人民共和国成立以来，一直担任总理的职位，到今天计26年。在这26年之间，他不但领导了中国政府的行政，而且在国际外交上做了许多意义重大、影响深长的工作。我们在这里只简要地提到两点：第一是1955年在万隆会议上他所提出的国际外交五原则的基本观念；第二是近年来周总理在毛主席指导下所坚持的反对国际霸权的观念。我们毫无疑问地相信这两项基本观念在未来的四分之一世纪中会被更多的国家所采用，因为它们是符合正义的，因为它们是符合世界绝大多数人民的利益的。1972年的中美上海公报采用了这两个观念就因为它们符合中美两国人民的利益，符合亚洲人民的利益，符合世界人

民的利益。

周总理逝世于1976年1月8日，在新中国的首都。
他贡献了他的一生，无私地为人民服务。
我们可以说，
这一个伟人的一生的历史，
　　就是新中国的孕育的历史，
　　就是新中国的诞生的历史，
　　就是新中国的成长的历史。
他是中国人民的英雄。

遵照周总理的遗嘱，他的骨灰将被撒在中国的山川土地上。
他的身体将永远散布在一个伟大的国家的每一个角落。
他的精神将滋长在一个伟大的民族的精神里面，是这个民族的永恒的榜样。

中美科技交流对中国科学家的意义(1976)

本文是作者应邀为“与中华人民共和国学术交流委员会”出版物写的一篇文章。原载美国出版物:Reflections on Scholarly Exchanges with the People's Republic of China, 1972—1976, A. Keatley, ed., Committee on Scholarly Communication with the People's Republic of China, 1976. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。由宁可、韩秀兰译自杨振宁《选集与后记》。

目前,中华人民共和国正作出巨大努力,使各界人士确信中国政策的意图和可行性。如果没有认识到这一点,那么对中国的了解是不全面的。作为中国外交政策的一个方面,与美国交流也包括在这一总的方针之中。大多数中国人赞成加强同美国接触这一政策。对于科学家和工程技术人员来说,由于他们看到了与美国的交流对中国科学技术发展的好处,从而促进了他们对政府政策的一致赞同。

将各个领域发展的新趋势更迅速地传递给中国专家们,才能使中美学术交流对中国科学技术的发展产生最重要的影响。例如,在高能物理领域,中国在1976年获得的关于美国和欧洲在这方面进展的最新资料,比1973、1974年的多得多。尽管导致这一

变化的原因一定是多种多样的，但是，中国科学家一致认为，与国外科学家，特别是与美国科学家联系的增加是一个重要因素。

较好地了解国外科技的最新进展会推动中国的科学研究。将1976年中国的科学研究与1973、1974年的相比较，其所呈现的生气清楚地表明，至少在物理和数学两个领域，这种推动使科学研究大为改观。中国科学家承认，同美国的学术交流在这一进展中起了重要作用。这种看法也适用于其它领域。

两国间的学术交流也使有关中国科技研究、教育政策和社会特征的信息得以在美国广泛传播。不断增进对中国的了解是近几年来双方交流的重要成果，无疑，中国科学家和工程技术人员也有同样的看法。

中国科学家感到，美国科学家，不论为宾或为主，一般都很坦率、好客和友好。在这些方面，美国科学家比苏联、西欧和日本的科学家要好。作为接待单位，美国大学的态度要比美国的工业部门更好客、更坦率。

经常会有这样一个问题，在交流过程中，是否应该让中国科学家知道美国观察家对中国发展的批评意见。中国科学家的回答是，他们欢迎并且感谢能听到对于中国建设的实事求是的批评意见。这可能出于两个原因，首先，在中国，人们习惯于从批评中学习。另外，中国悠久的历史和20多年来的建设成就使中国科学家和工程技术人员有充分的信心，故在中国不存在文化自卑感。因此，中国研究工作者很能接受批评意见并积极发挥它的作用。

一般来讲，我相信，中国人民将受益于中国政府对世界前景的估计：在未来的20年里，美国和中国的外交政策将趋于接近。因此中国的科学家们期望继续不断地增加同美国科学家的联系和交流，特别是在中美外交关系正常化以后。

附:《中美科技交流对中国科学家的意义》一文之后记

此后记写于1982年,原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年。译者甘幼玶、黄得勋。

"与中华人民共和国学术交流委员会"是1966年由美国学术委员会(American Council of Learned Societies)、美国科学院(National Academy of Sciences)以及社会科学研究院(Social Science Research Council)协同建立起来的。70年代初中美之间的友好接触开始以后,此委员会对于架设两国间的一座重要桥梁发挥了很大的作用。委员会的干练秘书安娜·凯利(Anne Keatly)为该委员会编辑一本小册子,她请我写一篇文章。这就是《中美科技交流对中国科学家的意义》。

1971年春,从报上可以清楚地看出,自1949年以来冻结了的中美关系正在显出融解迹象。当我获悉美国国务院已经解除了美国公民不可到中国旅行的禁令后,我认识到重见我的故乡,重见我的家人、亲戚、老师和朋友们的机会来了。我迫不及待,因为我怕刚刚打开一条小缝的门,很可能由于越战和亚洲不断变化的地理政治形势而在几个月内又会被重新紧闭起来。我于是向

巴黎中国大使馆申请签证，于1971年夏天访问了中国一个月。

我不打算在这里描述那次旅行的经历。但到了1972年夏天作第二次旅行时，我已经拿定主意，作为一名中国血统的美国科学家，我有责任帮助这两个与我休戚相关的国家建起一座了解和友谊的桥梁。我也感觉到，在中国向科技发展的道途中，我应该贡献一些力量。

1972年7月1日，周恩来总理在人民大会堂的新疆厅宴请我。前一年他已经为我举行过一次宴会。在这第二次宴会上，我觉得可以比较从容地直陈我心中要说的话。我观察到，在那些年里，中国政府的片面的平等主义已经毁了中国的科学。因此我建议他考虑采取一个多注意基础科学的政策，哪怕从全国的观点看，这也许并不立时见实惠。

周总理显然和毛泽东主席讨论了我的建议，他们两人都认为值得进一步考虑。1972年7月14日，总理指示北京大学周培源副校长研究如何实施这样一个政策。①后来我听说这一连串事情曾为基础研究在中国创造了较多的机会，但是主要的科技发展在1976年底“四人帮”倒台以前却一直没有能够开始。

注：

① 周培源，《人民日报》，1977年1月13日。

在李昭辉追悼会上的讲话(1977)

本文原载 *Unification of Elementary Forces and Gauge Theories*, D. B. Cline 与 F. E. Mills 编。纽约：Harwood Academic Publishers, 1977. 中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985 年。由甘幼玶、黄得勋译自杨振宁《选集与后记》。

李昭辉(Benjamin W. Lee)生于 1935 年，今年年初逝世，终年 42 岁。他一生发表了 100 多篇关于理论物理的研究论文。

理论物理的主要目的，是对物理世界作出简明而广袤的理论描述。它的历史告诉我们，这是一项极成功的事业。为了了解微妙、复杂而又常常是头绪纷纭的自然现象，这门学科已经产生了不可思议的精确的理论描述。它使用最美最深邃的数学概念，同时又帮助创造并发展这些概念。

因为自然界是微妙而复杂的，对于理论物理的追求需要勇气和热忱，要敢于涉足到混沌朦胧的新现象里。因为所运用的概念是优美而深奥的，对于理论物理的追求需要鉴赏力与洞察力，要能总体地了解与掌握理论结构。

李昭辉的研究工作表明，他在这两个方面都有高超的能力。他和介雅德(Gaillard)与罗斯纳(Rosner)于发现 J/ψ 粒子前就已经完成的在《现代物理评论》(*Reviews of Modern Physics*)上的论

文，当时就引起了人们的注意，在发现了粲数后的今天更显露出其价值。他关于规范场理论重整化的工作是近年来有关理论物理基本结构的重要成果之一。我们知道，在理论物理这一领域，没有多少成就经过 10 年之后仍然为人们所重视，经过 20 年之后仍为人们注意的则更少而又少。然而，我冒昧揣测，规范场重整化 50 年以后将仍然会保持其重要性。

我们十分幸运，能和昭辉在石溪共事多年。他是一位令人激奋的物理学家，又是易于合作而慷慨大方的同事和朋友。他总是热情洋溢，同时又有清醒的头脑和严谨的作风。我们很多人，特别是我，曾经多次和他在一起愉快地讨论问题，受益良多。

昭辉逝世的时候正处于他物理学事业的巅峰。对于前途有些什么奥秘等着大家去发现，他有许多想法。今年 1 月，美国物理学会在芝加哥举行会议时，曾将海涅曼(Heineman)奖授予史蒂夫·温伯格(Steve Weinberg)。昭辉在会上有一篇讲话，这里让我引用其中一段：

> 在目前的框架内，我们已了解，或者希望了解，弱相互作用，到了了解电动力学的程度吗？我们还得解决 CP 破损及弱相互作用的超高能性状。关于这些课题，我在下面将作一些评论。但是我相信我们的路子是对的，关于这一点我比以往乐观。而且我要说，史蒂夫在这里面的贡献确实与他今天要获的荣誉相称。

昭辉的夭逝是他的家人和朋友的巨大损失，是费米实验室的巨大损失，也是物理科学的巨大损失。

附:《在李昭辉追悼会上的讲话》一文之后记

此后记写于 1982 年,原载杨振宁《选集与后记》, *Selected Papers 1945—1980 With Commentary*, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989 年。译者宁可。

1977 年春末,我在费米实验室工作了一个月,与李昭辉打过许多交道。在许多话题之中我们讨论过周期瞬子解以及他在天体物理学方面的新兴趣。我在 6 月中旬回到石溪。几天后,他的秘书打电话告诉我这个噩耗:昭辉刚刚在一桩车祸中丧生。

原预定 1977 年 10 月在费米实验室举行关于宇称不守恒、弱中性流和规范理论的国际会议,李昭辉是组织者之一。因为他的死,会议改名为"纪念李昭辉国际会议"。正文编选的就是我在这次追悼会上的讲话。

1960 年秋,年轻的李昭辉来普林斯顿高等研究所做博士后,这是我第一次见到他。我对他独立思考能力印象很深。其后几年的相互接触中使我确信他是一位卓越的物理学家。1965 年秋我决定去石溪时,邀他同往。我很高兴他答应了。值得我们庆幸的是,他在石溪干得非常出色。在石溪的几年里,他做了极其重要的研究工作,对我们物理系做出了杰出的贡献。[①]在 1973 年,他前往费米实验室领导自己的理论组,但我们一直保持着密切的联系。他的死,使物理学界震惊,于我,又是个人友谊的

巨大损失。

注:

① 参见李昭辉《*Gauge Theories and Neutrino Physics*》, ed. M. Jacob (Amsterdam: North—Holland, 1978), p. 147.

磁单极、纤维丛和规范场(1977)

本文原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《杨振宁谈科学发展》,八方文化企业公司,1992年。译者张美曼。

这本专著中的报告,对用规范场概念统一各种相互作用表现出极大的热诚,并且内容丰富充实。我想强调,这一内容还没有被其它作者清晰地叙述过,即规范场与现代数学中某些漂亮的含义深远的观念密切相关,这些观念在近40年中推动了数学的前进。回忆一下早期的物理学和数学的关系,广义相对论和黎曼几何、量子力学和希尔伯特空间,那么可以十分清楚地看出,物理学家可能将再一次地把注意力集中到自然界的新的基本奥秘上。

上面所说的数学发展就是纤维丛理论。先前,这个理论显得很抽象、与物理世界的结构无关,为了证明实际上并非如此,我们将从一个简单的论证出发,即电磁学和量子力学一起自然地导致了"非平凡纤维丛"。然后,我们将追寻规范场概念的早期历史和它的推广,强调三个彼此有关但又各不相同的概念上的动机,它们中的每一个,都导致了一个普遍的规范场的公式。

磁单极和非平凡丛

磁单极就是磁荷。虽然磁单极的观念在电学和磁学的早期

历史上在经典物理学中已经讨论过，但对这个概念的现代讨论要追溯到1931年狄拉克的一篇重要文章[1]。在这篇文章中狄拉克指出，在量子力学中磁单极显示出一些特别的巧妙的特性，特别是，在量子力学中，当一个强度为 g 的磁单极存在时，电荷和磁荷必须是量子化的。下面，我将给出这个结果的一个新的推导。

如果人们要描述处在一个磁单极场中的电子的波函数，就必须找出磁单极周围的矢量位势 A。狄拉克选择了一个有弦奇异性的矢量位势。如果我们证明了下面的定理[2]，这样一个奇异性存在的必要性就很显然了：

定理：考虑一个处于原点的强度为 $g\neq 0$ 的磁单极，考虑围绕原点半径为 R 的球。不存在一个在球上没有奇异性的磁单极场的矢量位势 A。

用下面的方法可以很容易地证明这个定理。如果有一个无奇异性的 $\overline{A}$，我们考虑一个回路积分。

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu$$

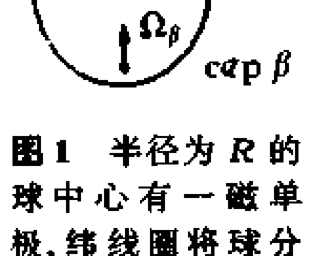


图1　半径为 R 的球中心有一磁单极，纬线圈将球分成两个帽子 α 和 β

积分路线是图1所示的球上的纬线圈。用斯托克司定理，这个回路积分等于通过帽子 α 的总磁通量

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu = \Omega_\alpha \tag{1}$$

类似地，我们可以将斯托克司定理用到帽子 β 上，得到

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu = \Omega_\beta \tag{2}$$

这里 Ω_α 和 Ω_β 分别是通过帽子 α 和 β 的向上磁通量，这两者是由纬线圈分界的。两个方程相减我们得到

$$0=\Omega_{a}-\Omega_{\beta}$$

这等于球中出来的总磁通量，可是，它应该等于 $4\pi g\neq0$。于是我们得出了矛盾。

从定理的证明中我们看到 R 是任意的。因此人们可以推断，在描写磁单极场的矢量位势中存在弦奇异性或一些弦奇异性。可是，我们知道围绕磁单极的磁场是没有奇异性的，这就是说，弦奇异性不是一个实在的物理困难。这一情形使人联想起当人们要去将球的表面参数化时所面临的一个问题。我们通常用的坐标系，纬度和经度，并不是没有奇异性的。在北级和南级有奇异性。但球面显然是无奇异性的。通常，我们用图 2 所示的类似的方法处理这种情况。我们用一张划好坐标的橡皮纸，将它拉伸并向下包裹球，使它覆盖比北半球稍多一点的区域。类似地，我们用另一张划好坐标的橡皮纸，拉伸向上包裹球，使它复盖比南半球稍多一点的区域。现在我们有描述球上点的双坐标系统。如果在拉伸和包裹的过程中没有破坏，那么在每一张纸所包裹的区域中，这个描述还是解析的。在被两张纸覆盖的重叠区域中，有两个坐标系统，它们可以通过一个解析的、不为零的雅可比行列式彼此互相变换。这个双坐标系统是一个将球参数化完全满意的方法。

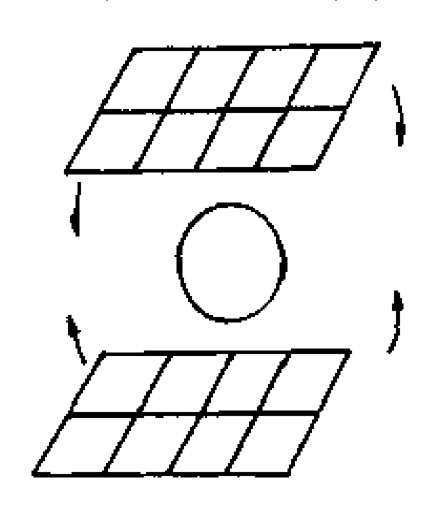


图 2　参数化一个球的方法

根据这个思想，通过将空间分成两个区域，我们尝试着去排除磁单极问题中的弦奇异性。我们将称图 3 中原点外面下半锥的上面为 R_a 区。类似地，我们将称原点外面上半锥的下面为 R_b

区。
两个区域合并起来给出原点外的所有点。在 R_a 中将这样选择矢量位势，使得A仅有一个不为零的分量，即方位角分量：

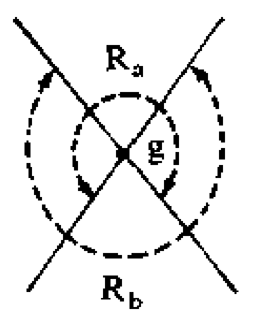


图3　将单极外面空间划分为重叠区域 R_a 和 R_b

$$(A_r)_a=(A_\theta)_a=0$$
$$(A_\phi)_a=\frac{g}{r\sin\theta}(1-\cos\theta) \qquad (4)$$

注意到下面一点是重要的，这个矢量位势在 R_a 中是不奇异的。类似地，我们在 R_b 中选择矢量位势

$$(A_r)_b=(A_\theta)_a=0$$
$$(A_\phi)_b=\frac{-g}{r\sin\theta}(1+\cos\theta) \qquad (5)$$

它在 R_b 中没有奇异性。这二个位势中的每一个的旋度都正确地给出单极的磁场，证明这一点是简单的。

在重叠的区域中，由于这两组矢量势有相同的旋度，它们的差是无旋的，因此必须是一个梯度。确实，一个简单的计算表明

$$(A_\mu)_a-(A_\mu)_b=\partial_\mu\alpha$$
$$\alpha=2g\phi \qquad (6)$$

ϕ 是方位角。因此在单极场中的一个电子的薛定谔方程是

$$\frac{1}{2m}(p-eA_a)^2\psi_a+V\psi_a=E\psi_a \qquad 在\ R_a\ 中$$

$$\frac{1}{2m}(p-eA_b)^2\psi_b+V\psi_b=E\psi_b \qquad 在\ R_b\ 中$$

这里 ψ_a 和 ψ_b 分别是两区域中的波函数，通过众所周知的规范原理，在这两个方程中的两个矢量势差一个标度的事实告诉我们，

ψ_a 和 ψ_b 通过一个相因子变换而彼此相关的。

$$\psi_a = S\psi_b, \quad S = \exp(ie\alpha) \tag{7}$$

或

$$\psi_a = [\exp(2iq\phi)]\psi_b, \ q = eg \tag{8}$$

沿着全在 R_a 中的赤道，ψ_a 是单值的，类似地，由于赤道全在 R_b 中，ψ_b 沿着赤道是单值的。因此，当沿赤道转一圈，S 必定回到它原先值。这就意味着狄拉克的量子化条件：

$$2q = 整数 \tag{9}$$

截面的希尔伯特空间

这两个 ψS，分别在 R_a 和 R_b 中被给定而且在重叠区域中满足跃迁条件(8)的 ψ_a 和 ψ_b，被数学家称为截面。我们看到，围绕一个单极的电子波函数不是通常的函数而是截面。我们称这些为波截面。不同的波截面(例如，属于不同的能量)明显地满足具有相同 q 值的相同的跃迁条件(8)。于是，我们需要提出截面的希尔伯特空间的概念[③]。为此，我们用下式定义两个截面 χ 和 η(有相同的 q)的标积(这里忽略了在 $r=0$ 和 $r=\infty$时的收敛问题)。

$$(\eta, \xi) = \int \eta^{(1)}\xi d^3 r \tag{10}$$

注意，在重叠区域

$$(\eta_a)^{(1)}\xi_a = (\eta_b)^{(1)}\xi_b \tag{11}$$

所以，(10)式定义是明确的。

由于

$$\chi\xi_a = S(\chi\xi_b),$$

很清楚，若 ξ 是一个截面，那么 $\chi\xi_b$ 也是一个截面。因此 x 是这

个截面希尔伯特空间中的一个算符。类似地，我们可以证明，($\overline{P}-e\overline{A}$)的分量是算符，但 $\overline{P}$ 的分量不是，而且 $\overline{\chi}$ 和 $\overline{P}-e\overline{A}$ 都是厄密的。

沿用费尔兹(Fierz)的方法[④]，现在我们试图构造角动量算符。定义

$$\overline{L}=\overline{r}\times(\overline{p}-e\overline{A})-\frac{q\overline{r}}{r}。\tag{12}$$

很清楚，在截面的希尔伯特空间上，L_x, L_y, L_z 是厄密算符。可以很容易地证实下列的交换法则：

$$\begin{aligned}&[L_x,x]=0,\quad [L_x,y]=iz\quad [L_x,z]=-iy\\&[L_x,p_x-eA_x]=0,\quad [L_x,p_y-eA_y]=i(p_z-eA_z)\\&[L_x,p_z-eA_z]=-i(p_y-eA_y)\end{aligned}\tag{13}$$

从这些交换可以导出

$$[L_x,L_y]=iL_z,\text{等}。\tag{14}$$

方程式(13)和其推论(14)式合起来就表明了 L_x、L_y、L_z 是角动量算子[④]。我们强调，希尔伯特空间和这些算子都没有任何“奇异性”。(A_a 和 A_b 的奇异性都不是真正的奇异性，因为它们分别存在于 R_a 和 R_b 的外面。)

单极谐函数 $Y_{q,l,m}$

因为$[r^2,\overline{L}]=0$，我们可以对角化 r^2 并对一个固定的 r^2 研究算符 L。也就是，我们将研究有如下形式的截面：

$$\delta(r^2-r_0^2)\xi$$

这里 ξ 是一个依赖角坐标 θ 和 ϕ 的截面。那么 $\overline{L}$ 在“角截面”上

运算。

方程(14)显示 $[L^2, L_z]=0$。同时对角化产生了熟悉的具有本征值 $l(l+1)$和 m 的多重态,

$$L^2 Y_{q,l,m} = l(l+1) Y_{q,l,m};$$
$$L_z Y_{q,l,m} = m Y_{q,l,m} \tag{15}$$

其中,$l=0, \frac{1}{2}, 1, \cdots\cdots\cdots\cdots$。对每一个 l 值,m 在 $-l$ 和 l 之间取值,增量为整数。$Y_{q,l,m}$是本征截面,被称为单极谐函数③。l 和 m 的允许值是

$$l = |q|, \quad |q|+1, \quad |q|+2, \cdots,$$
$$m = -l, -l+1, \cdots, l, \tag{16}$$

这些 l、m 的每一组合,仅严格地出现一次。我们可以选择每一个归一化的 Y 使得

$$\int_0^\pi \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} |Y_{q,l,m}|^2 d\phi = 1. \tag{17}$$

不同的 $Y_{q,l,m}$(对固定的 q)是正交的,用通常的方法,从方程(15)可以很容易地证明这个事实。

在文献 3 中对固定的 q 用雅可比多项式给出了 $Y_{q,l,m}$的显式。它们是从方程(15)得到的,这与通常得到球谐函数的方法完全相同。实际上

$$Y_{l,m} = Y_{0,l,m}$$

对固定的 q,l、m 的值由方程(16)给出,这样,$Y_{q,l,m}$的集合形成一组角截面的完备正交集③。

每一个$(Y_{q,l,m})_a$ 在 R_a 中解析,$(Y_{q,l,m})_b$ 在 R_b 中解析。因此,在 A 和 ψ 中的所有不连续性、尖点和奇异性都在一种很光顺的方式中被移走了。

评论：

(1) 体会到下一点是重要的。用上述的$(A)_a$和$(A)_b$共同描述一个单极场的方法还附加有一个好处：它在各处正确地给出了磁场H。在过去的文章中，人们常常取一个有弦奇异性的$\overline{A}$。由定义，

$$\nabla\cdot(\nabla\times\overline{A})=0$$

由此，用$\nabla\times\overline{A}$描述的磁场必须有连续的通量线。因此它的通量线由图4中的点线加上用实线描述的线束构成。并使得在原点的纯通量为零。因而，$\nabla\times\overline{A}$不能正确地描述单极的磁场，这一点已由文采尔(Wentzel)强调过[5]。

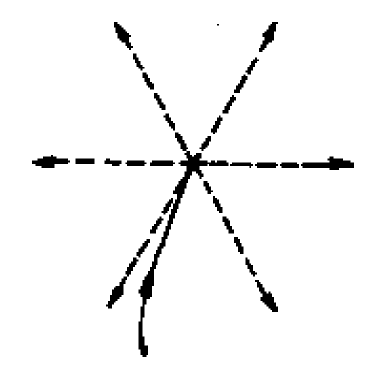


图4　由A得出的磁通量线。由于$\nabla\cdot(\nabla\times\overline{A})=0$通量线处处连续。因此沿实线有“返回”通量。

(2) 对通常的球谐函数有许多重要的定理，例如球谐函数加法定理和用克莱布施-戈登系数的球谐函数乘积的分解定理。这些定理可以推广到单极谐函数[6]。

(3) 自从狄拉克关于磁单极的第一篇文章问世以来的近40年中，这个课题被奇异性引起的困难所困扰着。现在我们通过引入截面的概念移走了弦奇异性困难。但另外的困难又显示出来，我们将称它为李普肯(Lipkin)—韦斯伯格(Weisberger)—帕斯肯(Peshkin)[7]困难。这个困难出现在围绕一个磁单极的狄拉克电子的径向波函数中(表1)[8]。通过给狄拉克电子引入一个小附加磁矩的方法可以将它移走。

表 1 研究狄拉克电子在一个磁单极场中运动的困难和解决方法。

角波函数	径向波函数
弦奇异性的困难 通过引入截面而解决	李普肯—韦斯伯格—帕斯肯困难 通过引入附加磁矩而解决

(4) 回顾图 1 所表示的推理，尝试重复用组合的 A_a、A_b 去描述磁场的步骤是有启发的。选取赤道作为纬线，那么

$$\oint (A_\mu)_a dx^\mu = \Omega_a$$

$$\oint (A_\mu)_b dx^b = \Omega_\beta$$

因此有 $4\pi g = \Omega_a - \Omega_\beta = \oint [(A_\mu)_a - (A_\mu)_\beta] dx^\mu$

由方程(6)，它等于 α 沿着赤道的增量，这就是 $2g(2\pi) = 4\pi g$，我们已经得到了一个恒等式。我使用这样一个简单论证的理由是：它严格地包含了著名的高斯-包乃特(Bonnet)—阿莱恩道厄夫(Allendoerfer)—韦尔(Weil)—陈定理和后来的陈—韦尔定理证明的要点。这些定理在现代数学中起着奠基性的作用。

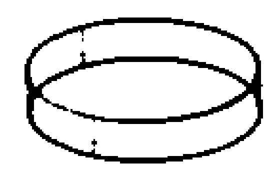
事实上，规范场(电磁学是它的一个简单的例子)在概念上是等同于纤维丛理论中的一些数学概念。表 2 给出一些术语的对应[②]，一边是物理学家用的，另一边是数学家用的。特别是，我们注意到，狄拉克单极的量子化(方程 9)是等同于 $U_{(1)}$ 丛按照第一陈类分类的数学概念。

表 2 最后两行将有磁单极的电磁学和没有磁单极的电磁学等同于 $U_{(1)}$ 平凡与非平凡丛上的联络。为什么没有磁单极的电磁学是平凡的？观察图 5 中的一条纸带和一条缪毕乌斯(Moebius)带，我们可以从中得到一些理解。如果沿着虚线将它们割开，每一条剖成两条，纸带和缪毕乌斯带的不同仅在于将切

后得到的两条合到一起的方法上。对后者，必须将切后的带的一头扭一次。平凡丛和非平凡丛的区别仅在于粘合过程：对非平凡丛，在粘合过程是由方程(7)或(8)给出的。如果没有单极子，$S=1$，丛是平凡的。如果有单极子，$S\neq 1$，丛是非平凡的。(我们可以用相位必须扭一次的说法去描述非平凡本质。)

表　2

规范场术语	丛　术　语
规范(或整体规范)	主坐标丛
规范类	主纤维丛
规范势 b_μ^k	主纤维丛上的联络
S(方程 8)	变换函数
相因子 Φ_{QP}	平行位移
场强 $f_{\mu\nu}^k$	曲率
源(电)J_μ^k	?
电磁作用	$U_{(1)}$丛上的联络
同位旋规范场	SU_2 丛上的联络
狄拉克磁单极量子化	$U_{(1)}$丛按照第一陈类分类
无磁单极的电磁作用	平凡 $U_{(1)}$丛上的联络
有磁单极的电磁作用	非平凡 $U_{(1)}$丛上的联络



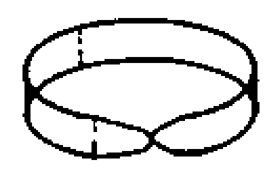


图 5　平凡和非平凡纤维丛的例子
左边是平凡丛、右边是非平凡丛

规范场概念的早期历史

爱因斯坦发现的引力与空间—时间几何之间的关系刺激了

许多大几何学家的工作，如列维-西维塔（Levi-Civita）、嘉当（Cartan）、韦耳（Weyl）等等。在韦耳的书 Raum Zeit Und Materie（空间，时间和物质）中，他试图用一个空间—时间依赖的标度变化的几何概念去统一引力和电磁力[8]。基本想法概括如下。

	$dx\mu$ ∘——→•
标度	1 $\quad 1+S_\mu dx^\mu$
f	$f \quad f+(\partial f/\partial x^\mu)dx^\mu$
标度变化	$f \quad f+\left(\frac{\partial}{\partial_x \mu}+S_\mu\right)f dx^\mu$

在上面的总结中的第一行上的线表示标度变化是怎样从点 x^μ 跑到邻近的空间—时间点 $x^\mu+dx^\mu$ 的。第二行表示，一个空间—时间函数由于它的变量从 x^μ 变到 $x^\mu+dx^\mu$ 所造成的变化。最后，如果将标度变化应用到函数 f 上，在点 $x^\mu+dx^\mu$ 得到乘积

$$(f+\partial f/\partial x^\mu dx^\mu)(1+S_\mu dx^\mu)$$

展开到小位移的第一级，得到表中的最后一行。因此，f 的增量是

$$\left(\frac{\partial}{\partial x^\mu}+S_\mu\right)f dx^\mu \tag{18}$$

韦耳试图用矢量 A_μ 等同于一个空间—时间依赖的 S_μ，如所描述的那样产生标度变换，用这样的方法将电磁作用合并入引力作用中。然而这个尝试是不成功的。

在 1925 年量子力学的概念出现了，量子力学中的一个关键概念是将经典力学中动量 P_μ 用一个算符代替：

$$P_\mu \to -ih(\partial/\partial x^\mu).$$

对于带电粒子，这个替换是

$$P_\mu - \frac{e}{c}A_\mu \rightarrow -ih[\partial/\partial x^\mu - i(e/hc)A_\mu] \qquad (19)$$

福克⑩于 1927 年看到，人们可以将量子力学的基础植于这个算符上。伦敦⑪(London)指出了福克的工作与韦耳早期工作的相类似处。比较方程(18)和(19)，应修改韦耳所说的等同，可做如下的代换。

$$S_\mu \longrightarrow -i(e/hc)A_\mu$$

换句话说，代替标度变化

$$(1 + S_\mu \mathrm{d}x^\mu)$$

可以考虑一个相变化

$$[1 - i(e/hc)A_\mu \mathrm{d}x^\mu] \simeq \exp[-i(e/hc)A_\mu \mathrm{d}x^\mu] \qquad (20)$$

可以把它想象为一个虚的标度变化。在一篇出色的文章中，韦耳把这些表达式放在一起⑫(这也是第一次对自旋为 1/2 粒子的二分量理论进行讨论)，给出了电磁位势的变换

$$A_\mu \rightarrow A_\mu' = A_\mu + \partial_\mu \alpha \quad (\text{第二类变换}), \qquad (21)$$

和与之相关的、我们曾清楚地讨论过的⑬带电粒子波函数的相变换

$$\psi \longrightarrow \psi' = \psi \exp(ie\alpha/hc) \quad (\text{第一类变换})。 \qquad (22)$$

虽然相位变化因子(方程 20)不再是一个标量因子，韦耳仍保持他在 1918—1920 年间用过的术语[1][2]，称方程(20)所示的变换和相关的波函数的相位变化为“规范”变换。

推　　广

二次世界大战后，随着许多新粒子的发现，物理学家探究了

"基本粒子"之间的各种耦合。可以写下许多可能的耦合,但是希望找到一个原则,可依之在许多可能性中做出选择,这是试图推广韦耳的电磁学规范原理的动机之一⑰⑱。其本质是,对电磁作用来说,规范原理竟然确定了任一电荷为 qe(守恒量)的带电粒子作为电磁场源的方式。由于同位旋 I 也是守恒的,很自然地要问"是否存在一个推广的规范原理,它确定 I 作为一个新场的源的方式?"

试图推广的另一个动机是观察所得到的知识,即同位旋守恒意味着质子和中子是相似的。称这一个为质子,或者称两者的叠加为质子,仅仅是一个约定,人们可以任意选择(如果关掉电磁相互作用)。如果要求这个选择的自由度与在不同的空间—时间点上的观察无关,也就是如要求定域选择自由度,这就导致了规范原理的推广。

当然,这两个动机是缠绕在一起的,并很自然地导致了非阿贝尔规范场理论⑱。

推广规范原理的第三种方法⑲出现得较迟,这就是规范场的"积分形式"。这个方法是从这样一个认识出发,韦耳的规范原理在两个相邻点之间安排了一个相因子(方程 20)。沿着从空间—时间点 A 到空间—时间点 B 的路线,造成的相因子是

$$\Phi_{BA}=\exp[-i(e/hc)\int_{A}^{B}A_{\mu}\mathrm{d}x^{\mu}] \tag{23}$$

这就是路线有关的不可积相因子。(狄拉克在 1931 年就讨论了"波函数的不可积相因子"。)如果去分析一下在量子力学中电磁作用的意义,特别通过对博姆—阿哈罗诺夫实验⑳[3]的讨论,就可以得到一个结论㉑,即"电磁学是不可积相因子的规范不变的表现"。

一旦得到这个结论，一个自然的推广就是用一个“不可积李群元素”去代替“不可积相因子”。这就很自然地得到规范场的积分形式。

我用图6说明得到规范场一般概念的三种方式。当然这三种方式彼此相关很深，这是由于相位、对称和守恒定律它们本身就是相关的。

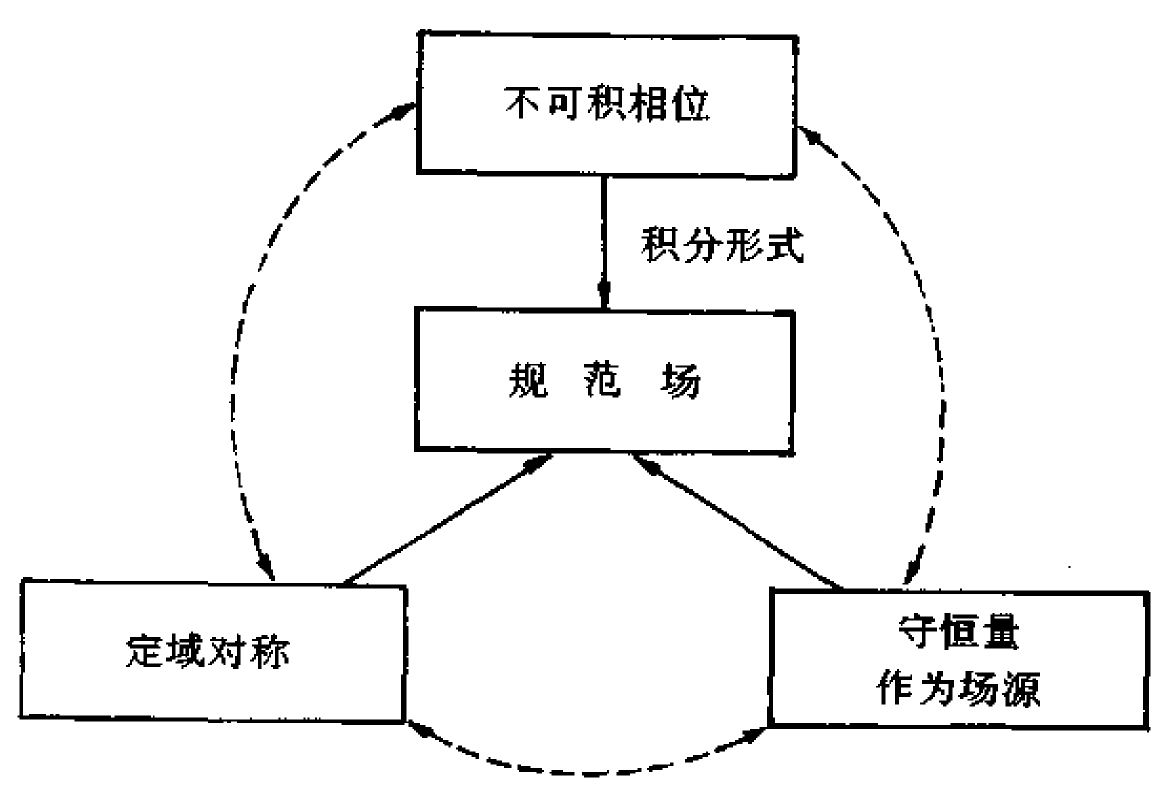


图6　导致规范场概念的三个动机

按照我的意见，从概念上看，规范场的积分形式比早一些的微分形式要好一些。积分形式有比较多的结构和比较多的含义。它使得先前的整体拓朴问题复苏了，而且这个问题不容易借助于微分方法去建立数学形式。例如，在我们早些时候，对围绕磁单极的场的讨论中没有引入不可积相因子的概念。我们并没有遇到任何概念上的困难，仅因为我们没有提出如坐标轴的转动那样的问题。只要那样的问题提出来了，很明显积分形式具有优势，

因为它具体说明内在含义以及坐标轴与区域 R_a、R_b 的选择无关。

然而，微分形式可以在计算中使用。（微分形式和积分形式之间的关系与李代数和李群之间的关系类似。）事实上，已经发展了规范—黎曼计算[21]。

像我们已经看到的，电磁场是规范场。引力是规范场，这是普遍接受的，虽然它确切地是怎样的一个规范场仍是一个需要澄清的问题[19][22]。不管弱作用还是强作用都与规范场有关，在最近一些年里，在这个问题和非阿贝尔规范场的可重整性问题上[24]开展了大量的研究[23]。如果可以借用一个生物学家所用的词，那就可以说渐渐形成了一种信条，即所有的相互作用皆源于规范场。由于包含在解量子化规范场中的数学困难的存在，我相信，在确切地得到弱作用和强作用是怎样严格地源于规范场这些问题的答案之前，我们还要花很长时间。

仔细想一下，物理学家是怎样建立起规范场的概念的，我们看到每一步的发展都与描写物理世界的概念紧密相联。首先，麦克斯韦的方程是源于电学和磁学的四个实验定律，源于法拉第所引入的场和通量的概念。麦克斯韦方程和量子力学导致了规范不变的思想。由相位、对称性和守恒定律这些物理概念所推动的推广规范不变性的思想的尝试导致了非阿贝尔规范场理论。非阿贝尔规范场在概念上等同于纤维丛，纤维丛这一漂亮的理论是在与物理学界无关的情况下由数学家发展起来的，这对我来说是十分令人惊叹的事。在1975年我与陈省身讨论我的感觉，我说："这真是令人震惊和迷惑不解，因为不知你们数学家从什么地方凭空想像出这些概念。"他立刻抗议"不，不，这些概念不是凭空想象出来的，它们是自然而真实的。"

注：

[1]　在文献9中的标度不变思想是早在1918—1919年间在韦耳的三篇文章中发展起来的。(三篇文章分别于1918.5.2、1918.6.8、1919.1.7提交。)在前二篇文章中，他用了词Massstab Invarianz(见文献14)，在第三篇文章中，他选定词Eich Invarianz。

按照亨利·布劳斯(Henry Brose)1921年对韦耳"空间，时间和物质"⑮一书第四版的翻译，Eich Invarianz的英文翻译是"标度不变性"。没有用"规范不变性"的译法。我怀疑这一直持续到韦耳1929年文章⑫之后，这种译法出现在狄拉克1931年的文章中。(可能不是第一次用这一译法)

[2]　变换(方程21)保持场强不变这一事实，一定在19世纪就知道了，然而不像有一个专门的名字。在1894年出版的福普(Foppl)—阿伯拉哈姆(Abraham)—贝克(Becker)—索特(Sauter)的书"电学和磁学"的许多版中，Eich或"规范"都没有用，这种情况一直持续到1964年"电磁场和相互作用"⑯英文版的出版，在这本书中"洛伦兹规范"插在一个注解中。

[3]　这个实验是钱伯斯(Chambers)完成的⑳。阿伯斯(Abers)和李㉑的总结文章中也包括了对费曼、法捷也夫(L.D.Faddeev)、波波夫(V.N.Popov)和魏特曼(M.T.Veltman)工作的总结。

参考文献：

① DIRAC, P. A. M. 1931. Proc. Roy. Soc. A133:60.

② WU, T. T. &C. N. YANG. 1975. Phys. Rev. D12:3845.

③ WU, T. T. &C. N. YANG. 1976. Nucl. Phys. B107:365.

④ FIERZ, M. 1944. Helv. Phys. Acta17:27.

⑤ WENTZEL, G. 1966. Progr. Theor. Phys. Suppl. 37—38:163.

⑥ WU, T. T. & C. N. YANG. 1977. To be published.

⑦ LIPKIN, H. J., W. I. WEISBERGER & M. PESHKIN. 1969. Ann. Phys. 53:203.

⑧ KAZAMA, Y., C. N. YANG & A. S. GOLDHABER. 1977. Phys. Rev. D. In press.

⑨ WEYL, H. 1920. Raum, Zeit Und Materie. 3rd edit. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg. New York.

⑩ FOCK, V. 1927. Z. Phys. 39:226.

⑪ LONDON, F. 1927. Z. Phys. 42:375.

⑫ WEYL, H. 1929. Z. Phys. 56:330.

⑬ PAULI, W. 1933. Handbuch der Physik. 2nd edit. Vol. 24(1): 83. Geiger and Scheel.; PAULI, W. 1941. Rev. Mod. Phys. 13:203.

⑭ WEYL, H. 1918. Sitzber. Preuss Akad. wiss.: 465; WEYL, H. 1918. Math. z. 2:384; WEYL, H. 1919. Ann. Phys. 59:101.

⑮ WEYL, H. 1921. Space, Time and Matter. Dover Publications, Inc. New York, N.Y.

⑯ 1964. Electromagnetic Fields and Interactions. Blaisdell Publishing Co. waltham, Mass.

⑰ YANG, C. N. & R. MILLS. 1954. Phys. Rev. 95:631.

⑱ YANG, C. N. & R. MILLS. 1954. Phys. Rev. 96:191.

⑲ YANG, C. N. 1974. Phys. Rev. Lett. 33:445.

⑳ AHARONOV, Y. & D. BOHM. 1959. Phys. Rev. 115: 485; CHAMBERS, R. G. 1960. Phys. Rev. Lett. 5:3.

㉑ YANG, C. N. 1975. Proc. sixth Hawaii Topical Conf. Particle Phys.

㉒ UTIYAMA, R. 1956. Phys. Rev. 101:1957.

㉓ WEINBERG, S. 1967. Phys. Rev. Lett. 19:1264; SALAM, A. 1968. *In Elementary* Particle theory. N. Svartholm, Ed. almquist and Forlag. Stockholm, Sweden.

㉔ THOOFT, G. 1971. Nucl. Phys. B 35: 167; ABERS, E. S. & B. W. LEE. 1973. Phys. Rep. 9C: 1.

和复旦大学的合作

——《规范场论的某些问题，Ⅱ》(1977)一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》。中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年，译者甘幼玶。本文标题为编者所加。

1974年访问上海复旦大学时，我问他们，复旦有没有愿意同我讨论微分几何问题的数学家和物理学家？之所以这样问，是因为我知道该校在微分几何领域很强。我这一问，引出了我同复旦大学十几个教师长达数年富有成果的合作。它还使石溪同复旦签订了对双方大有裨益的交流协议。

论文[77h](即《规范场论的某些问题，Ⅱ》一文)是合作的成果之一。该文讨论的问题基本上是几何的。标题页所列的合作者全都是论文的联合作者。

至于[77h]所讨论的许多问题的最近发展，可参阅 M. A. Mostow, Communications in Mathematical Physics, 78(1980), 137。

从历史角度看四种相互作用的统一

——在上海物理学会的演讲(1978)

本文是作者于1978年7月6日在上海物理学会所作的演讲。原载《世界科学译刊》,1979年第1期。

物理学是一门相当广泛的科学,可分为宏观物理学和微观物理学。所谓微观物理学,研究的是物质的最小基本构造,有两个基本的方面:一个是研究物质的最基本构造,最后是一些所谓基本粒子,到底有哪些基本粒子?另一个是,单知道有哪些基本粒子还不够,还需要知道基本粒子间彼此是怎样相互作用的,即是怎样的力量把它们联系在一起的。可以用一句简单的话来说,就是:基本粒子的性质和它们的相互作用肯定是微观物理学中两个最主要的问题。

相互作用的问题,在第二次世界大战后有了不少新发展。通过许多实验结果以及理论对实验结果的解释,从1948—1949年开始,已经了解一共有四种基本的相互作用:强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用(表1)。

这四种相互作用中,电磁相互作用知道得最清楚、就是电力和磁力;强相互作用就是原子核吸引在一起的力;弱相互作用,等一下我再提到;引力相互作用是物理学中发现最早的相互作用。

表　1

四种相互作用	强　度
强	1
电磁	10^{-2}
弱	10^{-13}
引力	10^{-38}

表1右边的这些数字大致给出了这四种相互作用的强度的相对大小。如果认为强相互作用的大小是1的话，那么电磁相互作用只有百分之一，弱相互作用就小得多了，只有10^{-13}，而引力相互作用是10^{-38}。这个10^{-38}的意思就是说，假如两个质子相距r，那么它们之间的引力相互作用与电磁相互作用大小之比就是10^{-36}。我们知道，在日常生活中引力相互作用是非常重要的，因为人类最早了解的力就是引力。可是引力相互作用是非常之小的，这是什么道理呢？原因是引力相互作用永远是相加的，而电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用都是既有相斥的力也有相吸的力，所以把许多物质放在一起，它们之间有排斥力也有吸引力，彼此抵消掉了。只有引力是继续不断地加上去的，所以在日常生活中，我们跟地球之间的引力是很大的。当然另外还有个道理，这四种相互作用里，电磁力和引力是所谓长程力，而弱相互作用和强相互作用是短程的相互作用。

首先，给大家介绍一下，人类是怎样逐渐了解到这四种相互作用的。第一个有所了解的是引力相互作用。这是在17世纪，牛顿(Newton)把在他之前的实验天文学家所得到的实验数据拿来分析、研究，得出一个结论：假如两个质量为m_1和m_2的质点，距离为r，那么它们之间有相吸引的力，它的大小用表2中的公

式来表示：$F=-G\frac{m_1m_2}{r^2}$。这个公式大家是很熟悉的，牛顿把它的意义写在他的非常重要的 *Principia*（《原理》，即《自然哲学中的数学原理》）一书中。在这部巨著中，牛顿把这一点讲得非常清楚。通过这个公式，可以解释行星绕太阳运动的轨道。这个公式代表了人类认识了自然界中的一种相互作用——引力相互作用。

人类对于相互作用的第二个了解，始于对电磁学中的静电力的了解。这是库仑(Coulomb)在 18 世纪末研究出来的，所以把它叫做库仑定律(见表 2)。假如两个质点分别带电荷 Q_1，Q_2，距离为 r，那么它们之间的作用力就是 Q_1 乘 Q_2 被 r^2 来除。

表 2

引力	牛顿(17 世纪)	$F=-G\frac{m_1m_2}{r^2}$	$\overrightarrow{m_1}$ $\overleftarrow{m_2}$
电磁	库仑定律	$F=\frac{Q_1Q_2}{r^2}$	(18 世纪末)
		周期 $=\frac{常数}{\sqrt{F}}$	
	高斯定律	$F=\frac{M_1M_2}{r^2}$	(18 世纪末)
	安培定律	动电→磁力	(19 世纪初)
场	法拉第定律 (1791—1867)	动磁→电力	(19 世纪初)
	麦克斯韦 (1831—1879)	电场，磁场	
		$\nabla\cdot\vec{E}=4\pi\rho$	
		$\nabla\cdot\vec{H}=0$	
		$\nabla\times\vec{H}=4\pi\vec{j}+\vec{E}$	
		$\nabla\times\vec{E}=-\frac{1}{c^2}\vec{H}$	

（续表）

		物理观念 ←→ 数学表示
		光＝电磁波　　　－1860
弱	－1898	贝克勒尔，居里
	－1932	中微子，费米理论
	1946	多种弱相互作用的发现
	1949	各种弱相互作用的共同强度
	1967	温伯格—萨拉姆理论
强	1913	核的发现
	1935	汤川理论
引力	1916	引力＝几何现象（非欧几何）

库仑的实验方法是很简单的（见图1），他将电荷 Q_1 放在左边，在右边悬挂一个摆，这个摆可以绕 O 点在水平面内摆动。假如没有 Q_1 的话，这个摆随便放在什么地方都是不会动的，放上了 Q_1，Q_1 和 Q_2 之间就有静电力，若 Q_1 和 Q_2 有不同的符号，这个力就是吸引力；如箭头所示的那样，在此情形下就会产生摆动。Q_2 受到的吸引力就跟一个钟摆受到地球的引力是一样的。大家都知道这个摆的周期是与所受力的平方根成反比：

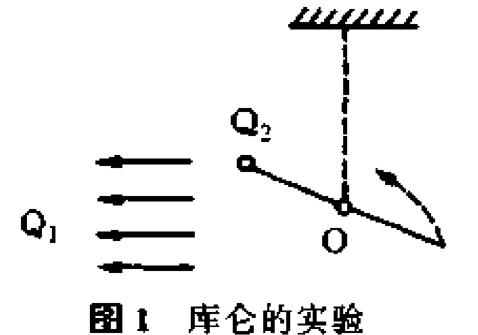


图1　库仑的实验

$$周期=\frac{常数}{\sqrt{F}},$$

根据这个原理，通过测量周期就可以决定出这个力的大小。这样

就得到一个公式(见表2)。不过,我曾经把库仑的文章拿来看了一看,发现他写出的那个公式同实验的误差达到30%以上。估计他所以写这个公式,一部分是猜出来的,猜测的道理是因为他已经知道了牛顿的公式。我所以要和大家讲这一点,是因为在所有物理和数学的最前沿的研究工作,很大一部分力量要化在猜想上。在别的方面可能也是这样,不过我不太熟悉罢了。当然这并不是说可以乱猜,猜必须建筑在过去的一些知识上面,你过去的知识愈正确愈广泛那么猜到正确答案的可能性就愈大。

电磁力方面的第二个基本定律是高斯(Gauss)定律,这也是18世纪末,19世纪初的一个重要发展。高斯定律跟库仑定律是同一类的,就是把两个磁极之间的作用力写出,得到一个公式(见表2),这跟库仑的公式是非常类似的。

19世纪初,安培(Ampere)发现了电磁学的第三个基本定律,即安培定律。如图2所示,如果有一个电流通到纸里面去,或者通出来,那么在它的周围就有一个磁力,画出来就是一个圆圈。这个基本观念说明动的电要产生磁的力,安培定律给出了磁跟电之间关系的定量的根据。这是19世纪的重要发展。

电磁学里第四个重要的定律是物理学家法拉第(Faraday)的贡献,这个贡献可以说是安培定律的相反作用。法拉第用实验方法证明了动的磁也要产生电力,这跟安培定律所说:动的电可以产生磁力一样。

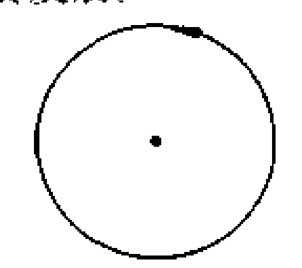


图2 电流周围有磁力

这四个定律是电磁学中的基本定律,到了法拉第的时候,认为对这四个定律的了解已经完成。法拉第是个没有受过很多数学教育的物理学家,他对于太多的数学采取不信任的态度。今天很多有重大贡献的科学家也采取法拉第的态度。

法拉第在物理学方面有很多设想,其中最重要的、影响最大的就是引进了场的观念。他认为两个物体的作用不应该是超距作用,而是一点对它旁边的作用力形成了场的作用,而这个场渐渐地传播过去,就把这个作用从这一点传播到另一点。这是法拉第的物理想法,当时他立刻把它应用到电场和磁场。把铁屑放在磁铁的旁边,就会排列成许多线,这些线就是法拉第所讲的磁力线。

19世纪最伟大的两个物理学家,毫无疑问的应该是法拉第和麦克斯韦(Maxwell)。他们两位相差40岁,麦克斯韦还年轻的时候,法拉第已是一个地位非常显著的物理学家。麦克斯韦对法拉第的贡献非常佩服,所以他在二十几岁就下了一个决心,要把法拉第的一些物理想法写成定量化的数学公式。他曾写过一封信给法拉第,把这一想法告诉了法拉第。文献上有一封很有意思的信,是法拉第回给麦克斯韦的信。这封信是在麦克斯韦已经把他的工作差不多完成了的时候写的,信的大意是这样:在当初听说你要把物理的想法写成数学的公式的时候,我很害怕,怕这样一来把所有的物理意义都丧失掉了。可是现在看见你所写的公式,我觉得原先的害怕是不必要的,因为我发现这些物理的想法虽然受到了数学公式的攻击,但还是完整的。这些话说明了即使法拉第看见了麦克斯韦方程式以后,还是对数学不太信任。

麦克斯韦到底做了什么事情呢?他就是把刚才所讲的电磁学里的四个定律写成了四个方程式(见表2)。第一个是库仑定律,第二个是高斯定律,第三个是安培定律,第四个是法拉第定律,其中$\vec{E}$是电场,$\vec{H}$是磁场。

我想如果大家对法拉第的想法有些了解的话,那么都会同情他的。因为数学的公式本身不见得有意思,必须要了解它的精神,而法拉第就是要保护这些精神。不过,法拉第的想法也太偏

了一些。因为麦克斯韦把这几个方程式写出来后发现了一个问题，这个问题在方程式写出之前大家都没有注意到，法拉第没有注意到，麦克斯韦也没有注意到。麦克斯韦最初写出的四个定律没有$\dot{E}$这一项，写出后他发现这四个公式实际上是不相容的，里面彼此要发生矛盾。如不把它写成数学的公式，单看这四个定律，那就不太容易了解它们之间是不相容的。可是写成了数学的公式，便可以运用数学中积累了好几个世纪的一些知识，作一些运算，这样麦克斯韦就发现它们的不相容。为了使它们相容，他加了一项$\dot{E}$，就是电场对时间的微商。加了这一项，就变成相容的了，而且又不违反原来法拉第的定律和安培的定律。这是物理学史上一个非常重要的发展。

我特别强调这一点，是为了说明，虽然用太多的数学式子当然是危险的，不过不能因为这样，而认为数学的公式没有用处，走向另一个极端。如果数学公式运用得当的话，那是非常有用的。麦克斯韦把$\dot{E}$加上去以后，他就发现这组公式要产生电磁波。他从这组公式里算出了电磁波的速度，发现跟那时已经知道的光波的速度是一样的，所以他就肯定：光就是电磁波。这是 1860 年的一个重大贡献，这一发现把物理学中关于电、磁、光之间的关系整个地改观了。如果你想到今天对电子学的了解，对光学的了解，想到今天的通信工程，今天的无线电工程，今天的电视，就可知道这一发展在技术上是多么重大的一次革命。这个发展的由来：一个是法拉第的物理观念——场；另一个是麦克斯韦把它变成数学公式。这两件事是缺一不可的。在表 2 中，列出了物理的观念和数学的表示，两者之间要保持正确的联系、正确的平衡，在这样的情况下才会有重要的进展。

电磁学发展到写出麦克斯韦方程式，可以说暂时告一段落。后面我们还要回过来谈这一点，因为近年来对电磁学有了一些更

新的认识。

现在再来讲另一个相互作用——弱相互作用。弱相互作用有很多种，最早是在1898年前后，由法国人贝克勒尔(Becquerel)、居里(Curie)夫妇三人所发现的，即现在所谓的 β 射线。此后，大家对放射性做了许多工作，在1930到1932年间泡利(Pauli)提出了中微子解释。这是因为在20世纪头30年对 β 衰变做了很多试验以后，发现其中能量似乎不守恒。玻尔(Bohr)是一个极力主张在 β 衰变中能量不守恒的物理学家。泡利觉得这个想法不见得正确，他认为能量还是守恒的，我们见到的似乎不守恒的现象，是因为有一个到现在还没有被发现的粒子，把剩余的能量给带走了。这个粒子后来大家叫做中微子，现在已经被正式证实存在了。同时在1932年前后，费米(Fermi)提出了 β 衰变的基本理论，叫做费米理论。在30年代到第二次世界大战之间，通过费米理论对 β 衰变做了很多的研究工作，费米理论多次被证明与实验密切相符合。1946年前后，又发现了很多新的基本粒子，这些粒子有种种不同的衰变，这些衰变都是弱相互作用，因为它们的强度都差不多。1946年前只知道一种弱相互作用，就是 β 衰变，从1946年开始发现了多种弱相互作用。1949年通过一些理论上的考虑，发现这多种弱相互作用都有一个共同的相互作用强度。1949到1967年之间做了不少理论和实验工作。1967年美国年轻的物理学家温伯格(Weinberg)和巴基斯坦物理学家萨拉姆(Salam)提出了一个温伯格—萨拉姆理论，对弱相互作用和电磁相互作用之间的关系有了一个新的说法。

近来在温伯格—萨拉姆理论方面做工作的人很多，但这种理论是否真的可以描述弱相互作用，还没有完全成定论。我个人的看法是他们的理论，毫无疑问是在向一个正确的方向前进。当然，不见得已经到达最后的阶段。总的说来，今天知道的弱相互

作用的知识很多，但还不能写成像牛顿引力定律 $F=-G\frac{m_1m_2}{r^2}$ 那样一个大家都同意的正确的公式。

强相互作用虽然是最强的力量，但却是物理学家最后才了解的。这并不稀奇，因为太强的力量有个倾向，要把东西聚在一起，聚在最小的范围之内，就是在核内。小到这个程度，一时就不容易找到。这样，最强的力量反而倒是物理学家最后了解的。1913 年发现了原子核后，才了解到有强相互作用。我们知道，1913 年卢瑟福(Rutherford)通过实验指出原子是由原子核和电子组成，原子核是非常小的，里头的力量应是很大的。强相互作用是从那时开始了解的。之后，又通过卢瑟福自己的实验跟别的许多实验，知道了原子核可以互相转变，就使强相互作用有了一些重要的实验研究。其中一个关键性的发展是 1935 年日本汤川秀树(Yukawa)的贡献，他提出了一个理论，解释为什么原子核内部有这样强的力量。

第二次世界大战到今天，又做了很多强相互作用方面的实验和理论研究工作。现在很多地方造了很大的加速器，目的就是将原子核碰撞，用很强的力量把它打开，看看里面是些什么东西，有些什么力量。对强相互作用，今天所了解的程度还没有到对弱相互作用的了解的圆满程度。总的说来，弱相互作用和强相互作用都还是不完全清楚的相互作用。

1916 年，关于引力场有了一个新的革命性的理论。这个理论是由爱因斯坦(Einstein)引进的，它的贡献不单是对引力场有了新的见解，而且对于整个物理学中相互作用的概念有了革命性的新想法，爱因斯坦把引力和几何概念联系在一起，这个联系是通过非欧几何实现的。毫无疑问，这个想法是 20 世纪物理学发展到极端的微观领域以后，所日益发展的一种趋向。这种趋向，

不管你喜欢也好;不喜欢也好,是一个历史事实,而且在数学上有惊人的成功。这是大家必须正视的一件事情。

最主要的有三个发展方向(见表3)。第一就是刚才讲的,爱因斯坦把非欧几何引用到引力场,把牛顿对引力场的观念加以深化,也变得更正确了。有实验数据证明这个修改是必要的。

表 3

数学观念引入物理:
非欧几何──→引力场
希尔伯特空间──→量子力学
纤维丛──→规范场

9年以后,即1925年,量子力学出现了,这时又要引用另一个新的数学观念。在那以前没有一个数学家、也没有一个物理学家会想到这个数学观念会引用到物理中来。这个数学观念就是希尔伯特(Hilbert)空间。希尔伯特空间引用到量子力学的经过也是很有意思的。写下量子力学公式的是海森堡(Heisenberg),他的数学修养不高,当时写出式子来时,他不但没有听说过希尔伯特空间,就连远远没有希尔伯特空间奥妙的数学概念——矩阵也没有听说过。这又是一个证明:一些基本的物理观念是物理学发展中非常重要的部分。不过在他的方向上继续发展下去是很难的,所以量子力学没有能马上大大发展。后来一些别的物理学家搞清了海森堡所讲的事情可以用希尔伯特空间来描述,量子力学才大大地发扬光大起来。所以说物理和数学这两方面是缺一不可的。

我特别要跟大家提到的是,在70年代百分之九十九的物理学家都相信,另有一个数学观念要引用到物理中来描述所有的相

互作用。这个数学观念叫做纤维丛，物理观念叫做规范场。这一点在后面还要谈。

上面所讲的数学观念：非欧几何、希尔伯特空间和纤维丛，其中有两个是基本的几何观念。几何的观念适用于物理，可以说是相当自然的，这在历史上已经有很多人讨论过。牛顿在300年前就说过："几何的辉煌之处就在于只用很少的公理而能得到如此之多的结果。"20世纪初，德国的大数学家希尔伯特说："19世纪最有启发性、最重要的数学成就是非欧几何的发现。"他为什么这样说呢？非欧几何的发现把人们从欧几里得几何的框框里解放了出来。凡是把过去的一个框框打破，而又有了一个新的完整的想法，这通常是非常重要的。希尔伯特特别强调了这一点。爱因斯坦对几何和物理的关系有这样一个说法："黎曼(Riemann)首先把高斯(Gauss)的想法推广到任意多维的连续空间，又预见性地看出了推广欧几里得几何的物理意义。随之而来的是这一理论以张量运算的形式发展，这主要是由里契和列维-西维塔作出的。"我们大家都知道，这些发展就是爱因斯坦用以建立广义相对论的基础。虽然许多人讨论了为什么几何的想法可以在物理原理中运用，但非常有意思的是却没有一个大家都同意的结论。

下面介绍一下，从物理观点讲规范场是什么，从数学观点讲纤维丛又是什么。规范场一开始是直接受了爱因斯坦的引力场理论的影响。1916年爱因斯坦提出了广义相对论，以后大家了解到几何的想法确实是描述引力作用的一个正确方法。那时对电磁场已经很了解，所以当时就存在一个爱因斯坦特别强调的非常重要的问题：不能把电磁场包括到这个几何想法中去是一个很大的缺点。1916年以后很多数学家和物理学家都致力于把引力场和电磁场联系起来，给出一个统一理论。爱因斯坦在这方面也做了很多工作。1920年韦耳(Weyl)想出一个办法，希望通过它

把电磁场跟引力场联在一起。他的基本想法是把电磁场与局部度规不变概念联系起来。度规就是用一根尺来量物体的大小。由这个想法，他理论中的电磁场叫做度规场，或者叫规范场。韦耳的想法很简单，如表 4 所示，x_μ 是时空中的一点，$x_\mu + dx_\mu$ 是它旁边的一点。假使有一个量，这个量在时空中不同的地方有不同的值，在这一点的值是 f，在它旁边一点的值就增加了一些，用微分的办法写出就是 $f + \frac{\partial f}{\partial x_\mu}dx^\mu$，这是普通的想法。韦耳的新想法是给这个 f 一个度规变换，就是给某一点的大小有一个改变；如果这一点不变，是 1，那旁边那一点几乎是 1，不过比 1 稍大一些，也写成微分增加的形式，就是表 4 中方框内的 $1 + S_\mu dx^\mu$，这一项就是度规的基本观念。假如用这个度规加在 f 上，就是把它们乘起来，在这一点是 $f \times 1$，旁边一点上就是 $\left(f + \frac{\partial f}{\partial x_\mu}dx^\mu\right) \times (1 + S_\mu dx^\mu)$，把它乘出来，略去有 dx^μ 平方的一项，就得 $f + \left(\frac{\partial f}{\partial x_\mu} + S_\mu f\right)dx^\mu$。韦耳研究了一下，说这跟电磁场有密切的关系。电磁场中有电场 $\vec{E}$，有磁场 $\vec{H}$；可是大家知道，可以写成电磁势，电磁势是一个矢量，这个矢量很象 S_μ，所以韦耳认为 S_μ 就是电磁场。可是他这个想法很快就遭到很多人的反对，包括爱因斯坦。爱因斯坦指出韦耳这样的规范场与真正的电磁场一点关系也没有。实验证实了，这样的方式得出的结果与实验结果不符合。所以韦耳在 1922 年后就不再做这方面的工作。

到了 1925 年，量子力学产生了。大家都知道，在量子力学中，由海森堡所引进的一个最基本的观念是把动量 P_μ 换成一个微分，前面乘上 i（见表 4）。1925 年时经典电动力学已经发展得很圆满，经典电动力学中通常出现的已不是动量，而是动量减去

一个与 A_μ 成比例的项，这个 A_μ 就是电磁势。这不是从量子力学来的，是从经典电动力学来的。既然量子力学中 P_μ 要换成 $-i\partial_\mu$，那么大家都想到这里的 P_μ 也要换成那样（见表 4）。1927 年做了这工作后，苏联人福克（Fock）和那时是德国人后来变成美国人的伦敦（London）指出这是量子电动力学中必要有的一个公式，这个公式跟韦耳所做的工作是非常相像的（见表 4 箭头所指）。那么，不同之处在什么地方呢？e 和 c 都是不重要的系数，

表 4

规范场简史

1920 韦耳：　电磁场 = 局部度规不变。

$$x_\mu \quad x_\mu + \mathrm{d}x_\mu$$

$$f \quad f + \frac{\partial f}{\partial x_\mu}\mathrm{d}x^\mu$$

$$1 \quad 1 + S_\mu \mathrm{d}x^\mu$$

$$f \quad f + \left(\frac{\partial f}{\partial x^\mu} + S_\mu f\right)\mathrm{d}x^\mu$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial x^\mu} + S_\mu\right)f$$

1925

$$p_\mu \to -i\partial_\mu$$

$$\left(p_\mu - \frac{e}{c}A_\mu\right) \to -i\left(\partial_\mu - \frac{ie}{c}A_\mu\right)$$

度规改换：　$1 \to 1 + S_\mu \mathrm{d}x^\mu$

相位因子改换：　$1 \to 1 - \frac{ie}{c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu = e^{\frac{-ie}{c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu}$

电磁场 $\longleftrightarrow$ 相位因子 $e^{\frac{-ie}{c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu}$

电磁场 = 相位因子场（规范场）

重要的是 i，即 -1 的平方根。所以韦耳当时的想法基本上可说

是对的，只是差了一个 i。韦耳所说的规范变换是方框中表示的，1927 年认为要把 S_μ 换成 $i\frac{e}{c}A_\mu$，这样一来，韦耳的想法就对了。把韦耳的想法从实的 S_μ 变成虚的 iA_μ 后，这个想法不仅是正确的，而且规范变换所增加的一项确实就是量子电动力学中的电磁势。

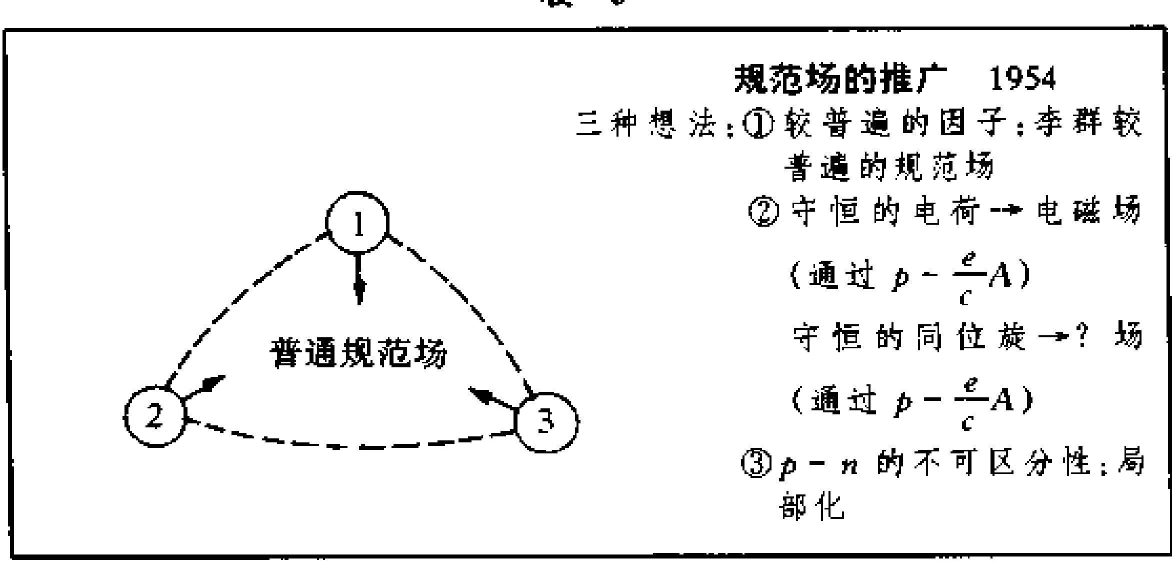
韦耳所讲的是度规变换，而实际上由表 4 可看出是相位因子变换。从这个观点来讲，韦耳并不全错，只是把度规变换改成相位因子变换就完了。了解了这一点，我们就知道电磁场不是韦耳所说的度规场或规范场，而应叫做相位因子场。今天大家叫规范场，这个名称有错误，应叫相位因子场。因为大家已经沿用了这个名字，所以也就叫规范场了。

大家仔细想想，相位因子这个概念不但在近代物理学中有极为重要的意义，而且在工业技术上也有极为重要的意义。任何有波动的现象就有相位，电磁学中有波动，所以它有相位。今天，我们知道激光是非常重要的新技术，激光所应用的基本概念就是相位，全息照相最基本的概念也是相位。大家知道，约瑟夫逊(Josephson)效应在今后 20 年内要大量引进到计算机元件中去，约瑟夫逊效应中最基本的概念也就是相位。所以，很多新的技术都直接或间接跟量子力学中的相位因子发生关系。

知道电磁场是一个相位因子场以后，就会知道规范场可以怎样推广。这个推广是在 1954 年开始的。当初推广的办法，不是用这个观念引进的，那时的想法是下面这两种想法。而今天我来描述的时候，可以说这三种想法都会得出同一个相位因子场即规范场(见表 5)。

第一就是把相位因子的概念扩充一下。相位因子是什么意思呢？就是说这个因子是单位圆上的一点；在复数中，单位圆上

表 5



的任意两点乘起来就在圆上运动，大家知道这就形成了一个群。所以很自然地想到，一个普遍的相位因子，就是另外一个群。单位圆是最简单的一个群。而假如有一个比较复杂的群，那就有一个比较复杂的相位因子，就可以得到一个比较复杂的相位因子场，这就是普遍的规范场。这个普遍的相位因子就是李群里面的一个元素，在这里援用了 19 世纪一个基本的数学观念——李群的概念。用了这个概念，通过跟电磁学的发展一样的理论上的发展，就可以推出普遍的规范场。这样做是没有任何灵活性的，只要你一有这样的想法以后，下面的事情就一步一步地做下去，不能够任意改变。所以虽然是一个很简单的想法，却把以后所有的东西都决定了。非欧几何也是一样，只要把观念引了进来，以后的发展就都是必然的了。

第二个想法也是从电磁场来的。把电磁场的一个特别的概念推广。这个概念就是电荷守恒。守恒的电荷自己要产生一个电磁场，这是通过 p 减去 $\frac{e}{c}A$ 这个数学概念产生的。这是在麦克斯韦方程建立后，在 19 世纪末和 20 世纪初大家做了很多工作之后才有所了解的。在 1954 年产生了一个很自然的问题，因为

那时发现除了守恒的电荷以外，还有别的守恒量，譬如说同位旋也是守恒的。那么，守恒的同位旋是否也要产生一个场呢？用同样的办法，即 p 减去$\frac{e}{c}A$ 的方法来产生。这个问题一当提出，就像上面第一个想法一样，也是不能任意改变的，必然会引出一系列的理论想法，最后得到的也是推广的规范场。

1954 年还有第三个想法，这个想法也导出了规范场。它的着重点不是守恒的电荷这个概念，而是如下的想法。当时已知同位旋守恒，同位旋守恒的物理意义是说质子和中子基本上是对称的，如果有一点不对称，那就是质子带电荷。可是电荷的力是很小的，在原子核中可以把它忽略掉。假如把质子的电荷完全取消的话，质子和中子就是不可区分的，两者是全同的。现在就来讨论这种假想的情形。在此情形下是不是还是知道有两个不同的质子或两个不同的核子呢？回答是肯定的。什么缘故呢？因为譬如说 He^4 核内有一个质子自旋向上，一个质子自旋向下，一个中子自旋向上，一个中子自旋向下。这是在最低的 S 轨道上。如果把质子的电荷取消。你发现还是有四个，而又得服从泡利不相容原理。因此，必须有两种不同的核子，才可以有两个不同的自旋向上，两个不同的自旋向下的状态。所以虽然把电荷取消掉，并不是就不知道有两种质子、两种核子。但有个问题，那就是你不知道哪个是这一种，哪个是另一种，哪个叫质子，哪个叫中子，因为它们是完全相同的。既然都没有电荷，又没有方法来分辨它们，这是说有了一个自由度，可以随便选择，你可以叫这个是质子，另一个是中子，倒过来也可以，甚至把它们作为一个线性组合也可以。根据量子力学的线性叠加原理，可以把两个加起来叫做质子，两个相减叫做中子，所以有个很大的自由度。假如我现在决定了叫某一个为质子，叫另一个与它正交的为中子，那就有

个问题：我这样选定了，那另外一个人，例如做实验的人是不是还有自由度？还有没有选择余地？当然有两种观点，一是认为我这样选择了，他就得这样做。另一种观点认为我有自由度，他也有自由度，第三个人也有自由度。时空中的每一点都有一个独立的自由度，这第三种观点叫做局部不变性。

局部不变性是与电磁场的基本观念相吻合的，在1954年就提了出来。对于同位旋守恒这个问题，也认为我的自由度与另外一个实验工作者的自由度是不相关的，都可以同时自由地来选择。这个想法一经引入，也是没有其他的可能，就得到了规范场的观念。这里所讲的第一个方法、第二个方法和第三个方法都引进了同一个规范场的观念。这并不奇怪，这三个方法彼此都包含着很深的物理思想在里面：一个守恒量是跟一个相位因子不变性密切相关的。因这三个方法基本上是一样的，所以在表5中我用虚线把它表示出来。在这三个方法中随便你着重某一个，最后得出的结果都是一样的，都得到普遍规范场的观念。

为了看出普遍规范场跟电磁场之间的非常密切的关系，我不加说明地来把麦克斯韦的四个方程式改写一下。电磁场可以写成 $f_{\mu\nu}$，$f_{\mu\nu}$代表了电场$\vec{E}$和磁场$\vec{H}$，那末可写成

$$\begin{cases} f_{\mu\nu,\lambda}+f_{\nu\lambda,\mu}+f_{\lambda\mu,\nu}=0 & \text{（高斯定律 法拉第定律）} \\ f_{\mu\nu,}^{\ \ \nu}=4\pi j_{\mu} & \text{（库仑定律 安培定律）} \end{cases}$$

↑
电荷源

其中逗点是微分的意思，在20世纪初引进了狭义相对论后就了解到可以写成这样。第一式是高斯定律加上法拉第定律。第二式是库仑定律和安培定律，等式右边的 j_{μ} 是电荷和电流，合称电荷源。随便你把刚才所讲的三种方法中的哪一种，把它发展下去，都得到一个普遍的规范场。它的方程式为

$$\begin{cases} f^i_{\mu\nu \parallel \lambda} + f^i_{\nu\lambda \parallel \mu} + f^i_{\lambda\mu \parallel \nu} = 0 \\ f^i_{\mu\nu \parallel}{}^{\lambda} = 4\pi j^i_\mu \end{cases}$$

↑
源

这两组方程式是完全一样的，只是第二组方程式的每一项上多了一个 i。增加这个 i 是因为现在的相位比较复杂了，是多元相位，所以要多一个 i。这个微分也比较复杂，所以用一个双杠来表示。这个双杠的微分是从逗点微分推演出来的。所以需要推演一下，从数学的观点来讲，就是跟非欧几何中要引进协变微分的道理一样。从物理的观点来讲，就是上面已讲过多次的 $p-\frac{e}{c}A$ 这个观念。物理中的 $p-\frac{e}{c}A$ 是通过物理实验，通过麦克斯韦方程，通过狭义相对论得出来的；而在数学里就是协变微分的观念，这两个观念是不约而同的。由普遍规范场式子的这种写法可以明显地看出它是电磁场的一个推广，而且是一个必然的结果，几乎没有别的方法可以推广。

近七八年来，在物理方面对普遍规范场讨论得非常之多。最初跟大家讨论的，在基本粒子之间有四种相互作用：强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用。其中电磁相互作用是一个规范场，就是因为电磁场的构造，才最早引入了规范场。引力根据爱因斯坦的理论是非欧几何的理论，这个理论，毫无疑问是一个规范场，不过是怎么样的一个规范场，现在还没有完全解决，里面还有一些复杂的物理的和数学的问题，还有待于大家的努力。我想这个问题在 5 年或 10 年后是应该可以解决的。强相互作用和弱相互作用是不是规范场，是最近七八年来最热衷讨论的物理问题。弱相互作用刚才我说过了，通过温伯格—萨拉姆的想法也要把它变成一个规范场，不过这还没有成为最后的定论。强相互

作用现在大家也都相信是规范场。总而言之，所有物理里的基本相互作用都是规范场，这是很多人的想法，不过这还是很不成熟的想法。是否有一个总的规范场，能够同时产生出所有的规范场，这当然是一个雄心勃勃的计划，恐怕一时还不见得能完全解决。

现在接下来给大家引进纤维丛的概念。纤维丛是一个数学上的概念。这里最令人(包括我自己在内)惊奇的是：规范场这一概念是完全从物理上导出的，每一步都是从物理观念出发推演出来的；而纤维丛的概念是数学家与物理学家完全没有关系、独立地发展出来的。这两者竟会如此密切地联系起来，这是当初所没有想到的。

什么是纤维丛的概念？正确的讲法应是：**普遍的规范场等同于纤维丛上的联络**。不过纤维丛上的联络跟纤维丛概念之间的关系，在这里不准备仔细讨论。给物理工作者介绍纤维丛概念的一个最简单办法是通过磁单极的概念。磁单极在物理上当然是很容易想象的，因为高斯定律跟库仑定律是多么相似。所以，在18世纪，有人想到电的单极的时候就联想到磁的单极。到19世纪，通过安培定律和法拉第定律，知道电和磁是密切相关的。最后了解到一块磁铁有南北极，并不是真有一个磁单极在那里，而是因为在磁铁内有电子在运动。从那时开始，物理学家一致认为世界上没有磁单极。

到了1931年磁单极又被狄拉克(Dirac)重新引入物理学。他有一个非常巧妙的想法。他觉得如果世界有一个磁单极，当然磁单极是很少的，但只要有一个的话，就可以解释为什么世界上所有的电荷都是量子化的。就是说，电的单位要么是 e，要么是 $2e$，要么是 $3e$，$4e$……，没有一个在 e 和 $2e$ 或 $2e$ 和 $3e$ 之间的电荷。他的这个想法很简单。我在这里介绍的方法跟狄拉克当时想的方法不一样，因为我们要通过它来引进纤维丛的概念。而这

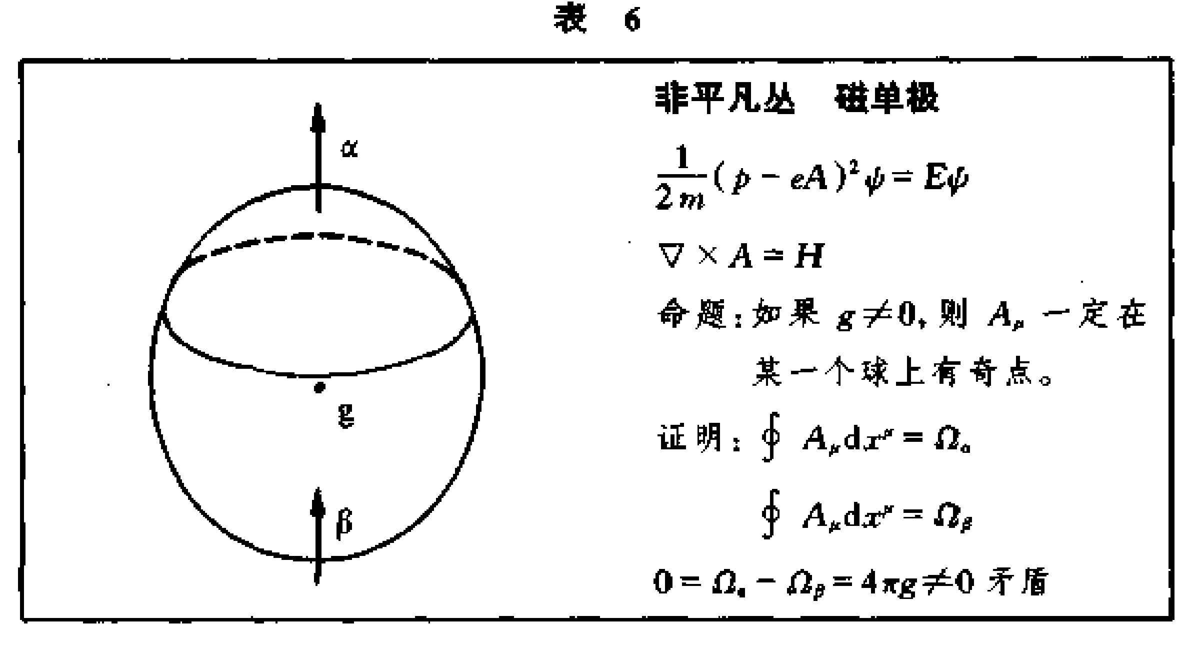
个想法事实上比狄拉克当时的想法反而来得更简单。如果存在磁单极，要研究它附近的电的作用，例如电子的运动，就必须写出磁单极的量子力学的运动方程，即薛定谔方程

$$\frac{1}{2m}(p-eA)^2\psi=E\psi_{\circ}$$

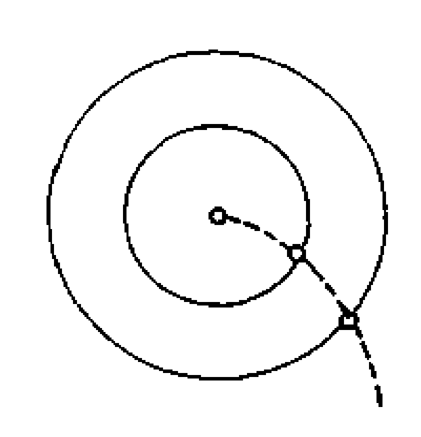
这个 $p-eA$ 就是前面提到多次的，只是取 $c=1$ 的单位。因此很重要的一点，就是有了磁单极，要想了解它周围电子的运动，就必须先了解这个 A 是什么？A 就是它的电磁势。A 的定义是 A 的旋度等于磁场(强度)，这个磁场(强度)当然是知道的，就是 gR/r^3。所以现在第一步要把这方程解出来，然后可以根据这个方程研究电子在磁极附近的运动。狄拉克做了一下，发现 A 不可能在每个地方都没有奇点，A 要有一系列的奇点，这一系列的奇点是一连串的，所以那时叫奇点线。这是狄拉克在 1931 年引进来的概念。如果我们对这个概念分析一下，就会接近于纤维丛的概念。

现在先来证明为什么必定有奇点线。证明是很简单的。如表 6 所示，在磁单极 g 旁边画一个球。如果能找一个 A，这个 A

表 6



是没有奇点的，那随便画一个纬度，把上面的一块叫做 α 帽子，下面的一块叫 β 帽子。在 α 帽子上，A 没有奇点，所以可以用斯托克斯定理算出磁通量 Ω_α；同样在 β 帽子上也没有奇点，也可以用斯托克斯定理算出磁通量 Ω_β。把两式相减，当然左边等于零。右边就是 α 的磁通量减去 β 的磁通量。β 的磁通量是向上的，负的 β 的磁通量是向下的，所以两个一减就是整个向外的磁通量，这刚好等于 $4\pi g$，不等于零。所以我们得到了零等于一个不为零的东西。这是不可能的，这就证明刚才的假设是不对的。换句话说，A 必须有个奇点。A_μ 在这个两个帽子加起来的球面上必须有个奇点，而球的大小可以随便取，每个球面上都有一个奇点，所以点加起来就有一条奇点线（见图 3）。关于这个问题的分析，吴大峻和杨振宁在《物理评论》D16, 1018(1977)上有一个讨论。


图 3　奇点线

可是，磁单极附近是没有奇点的，因为磁单极附近是球对称的，所有方向都一样。所以，这个奇点是人为的，也可以说是庸人自扰。事实上，这问题是大家在中学念书时就很了解的。如图 4 所示，假如这个球面是地球的表面，要在地球面上取一个坐标系，譬如说经度和纬度。经度和纬度是个很好的坐标系统，只是有个缺点，就是它有奇点，因为北极和南极在此坐标系中显得非常特别。有一个拓扑学的定理，就是在球面上不可能有一个二维的坐标系统，其中每一点都不是奇点。不必一定取经度和纬度，可以随便取，但至少有一个奇点。地球表面是没有奇点的，所以刚才所讲的北极和南极，也是人为的奇点。那么怎么解决这个问题呢？数学家对此已经了解得很清楚了，问题不在于地球有没有奇点。地球上是没有奇点的。问题出在你只要一个坐标系。如果

只要一个坐标系，那就要出奇点；如果你有两个坐标系，就不一定出奇点。譬如说，如图 4 所示，你把上面的橡皮膜画上坐标，把它拉开，复盖在上半球，比上半球还大一些。另外拿一个薄膜也画上坐标，拉开复盖在下半球上，这样就有个双坐标系。在北半球有个很好的坐标系，在南半球也有个很好的坐标系，在赤道附近有两个坐标系。一点有两个坐标系，并不是一个困难的问题，只要这两个坐标系之间的变换是很清楚的。这样就把奇点问题解决掉了。那么，怎么解决磁单极问题呢？这可如法泡制，我们不要找一组电磁势 A_μ，而是找两组电磁势。只找一组就必然出现奇点线。这两组电磁势，如何找呢？必须分成两块，如图 5 所示，分成两个圆锥，一个向上，一个向下。向上的圆锥的上部区域用

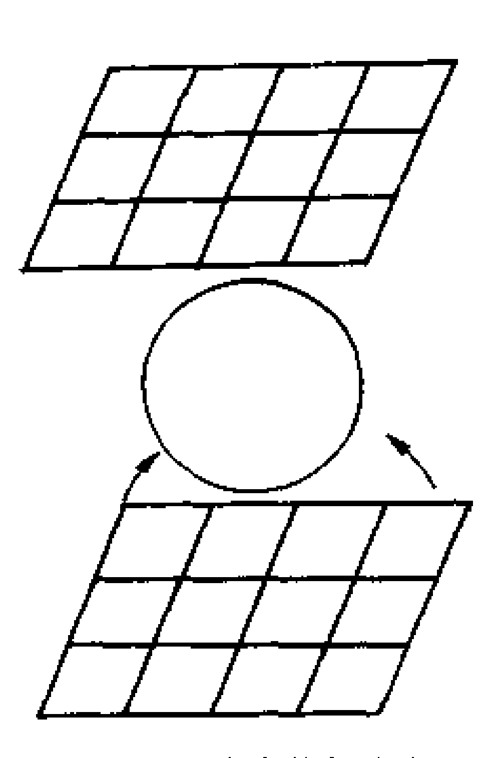
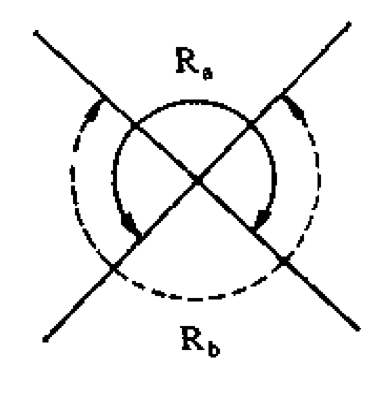


图 4　奇点线的消除



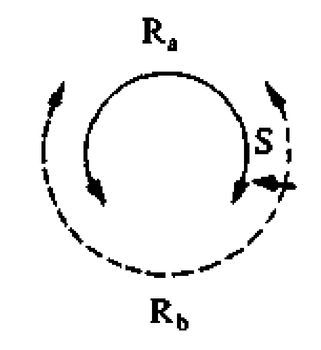


图 5　截面的概念

实线表示，叫做 a 区域，向下的圆锥的下部区域用虚线表示，叫做 b 区域。在 a 区域中取矢势 A_a，在 b 区域中取矢势 A_b。矢势在 a 区域中没有奇点，如果延伸到 b 区域就要出现奇点。既然

有两个势，在中间赤道附近就要重叠。两个区域中的矢势（Φ 分量）分别为

$$R_a:(A_\Phi)^a=\frac{g}{r\sin\theta}(1-\cos\theta)$$

$$R_b:(A_\Phi)^b=\frac{-g}{r\sin\theta}(1+\cos\theta)。$$

在重叠区内这两个都是正确的矢势，它们的旋度是同一个磁场。因而两个矢势的旋度之差为零，亦即两个矢势之差是无旋度的。根据一个简单的数学原理，无旋度的量一定是个梯度，即可写成

$$(A_\mu)_a-(A_\mu)_b=\partial_\mu\alpha,\quad \alpha=2g\varphi。$$

具体计算一下，发现 $\alpha=2g\varphi$，φ 是方位角。现在把薛定谔方程写出来：

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{2m}(p-eA^a)^2\psi_a+V\psi_a=E\psi_a\\ \frac{1}{2m}(p-eA^b)^2\psi_b+V\psi_b=E\psi_b\end{aligned}\right\}$$

a、b 两个区域里的电磁势是不一样的，所以这两个区域里的薛定谔方程也不一样，它们的波函数也不一样。你把这两个方程式一写出来以后，就立刻发现一件事情，这就是两个方程的差是一个梯度。这是因为刚才讲过的，这两个矢势 A_μ^a、A_μ^b 的差是一个梯度。这个概念就是当初韦耳在 1922 年所讨论的。在此情形之下，立刻就发现，如果两个方程的差是一个梯度，则两个波函数差一个相位因子，即两个区域的波函数之间的关系就是相位因子的关系。

截面的定义→ $\psi_a=S\psi_b\quad S=e^{i e\alpha}=e^{i2eg\varphi}=e^{i2q\varphi}\quad q=eg$

这组方程式就是规范原理，最早写这个规范的就是韦耳。这里的 α 就是刚才的 α，所以指数上就是 $i2eg\varphi$，φ 是方位角。这里得到

一个基本观念，写在方框里面，就是围绕在一个电子周围，波函数不能写成一个，只写一个就要出奇点。要当成两个波函数，一个在下面的 b 区域，一个在上面的 a 区域，而在重叠的区域内是通过一个相位因子把它们连在一起的，就是这个 S。两个不同的波函数在重叠区域用一个相位因子把它联系起来，这个观念就是纤维丛的观念，数学家叫它截面。如果我绕赤道走一圈的话，由于赤道完全在 a 里面（也完全在 b 里面），波函数又回到原来的值，即 S 绕一圈也要回到原来的值。$S = e^{i2q\varphi}$，绕一圈方位角要增加 2π，即 φ 增加 2π 就必须回到原来的值，这个充分条件是 $2eg=$ 整数（见表 7），这就是狄拉克当时的一个基本公式。由此公式可知 e 必须是 $1/2g$ 的整数倍，这样就得到狄拉克的基本想法：假如有一个磁单极，则所有电荷都是一个最小电荷的整数倍。这个想法再发展下去，就可以建立一个不是波函数的希尔伯特空间，而是一个波截面的希尔伯特空间。只要引进这观念之后，就可以把以前波函数的概念推广到波截面的观念，这个推广现在文献上已经有了，在此不再讨论了。

表　7

ψ_a 和 ψ_b 的单值性	
→S 的单值性	
→$2q=2eg=$ 整数	←狄拉克的观念

再讨论一下这与纤维丛有什么关系，以及什么叫平凡的纤维丛，什么叫做不平凡的纤维丛。图 6a 是个圆筒子，这叫做平凡的纤维丛。图 6b 是缪毕乌斯（Moebius）带，是一个不平凡的纤维丛，数学家叫做最简单的不平凡纤维丛。缪毕乌斯带子就是把一条带子的两端一正一反连接起来而成的带子。图 6a 中的这个圆柱体可以把很多直的棍子绕成一束，所以叫做纤维丛。因为它是

好好地连起来的，所以叫平凡纤维丛。不平凡的纤维丛也是把很多直的棍子捆起来，不过在后边是把它扭了一下再连接起来，这就叫不平凡的纤维丛。平凡的纤维丛和不平凡的纤维丛的差别是什么呢？如果沿虚线切开，两个带子就都割成两个纸片，这个带子的两个纸片跟那个带子的两个纸片是分不清的。所以平凡的纤维丛和不平凡的纤维丛的差别不在这里。那么，在什么地方呢？是在它们接触的地方。换句话说，一个纤维丛最基本的性质，不在它的某些部分，而是在它的连接方式上。如果接起来好好地并不奇怪，就叫做平凡的纤维丛。如果接起来的时候要把它扭一下，就成了不平凡的纤维丛。

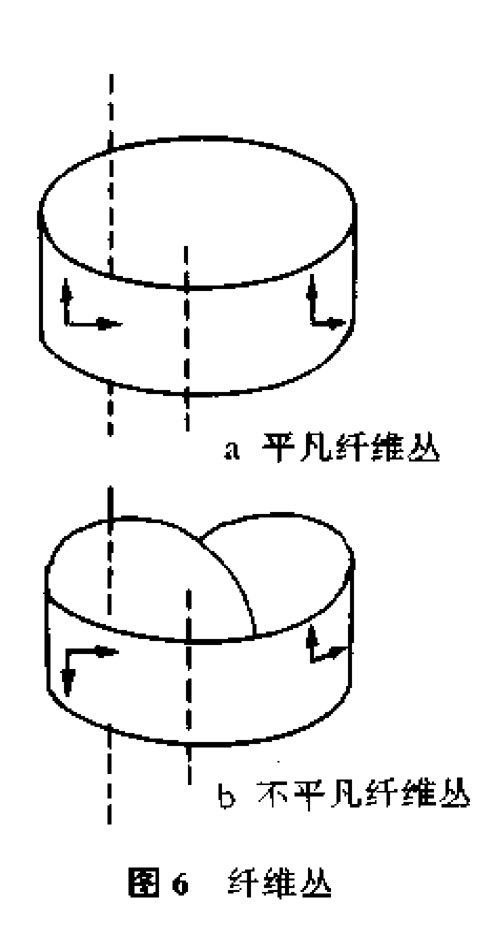


图 6 纤维丛

那么纤维丛跟磁单极有什么关系呢？这关系是很清楚的。在通常波函数的情况里，譬如说氢原子里的波函数，这是个普通的波函数。如果把它看成是上面一个和下面一个波函数接起来的话，那在接触的地方，它的 ψ_a 和 ψ_b 是一样的：$\psi_a = \psi_b$。可是如有磁单极的话，那这个磁单极不仅是个波函数，而且是波截面，所以在接榫的地方不是 $\psi_a = \psi_b$，而是 $\psi_a = S\psi_b$，S 与磁单极的强度有关，S 不能是 1。所以，这两种情况是不一样的。通过这样的想法，就可以知道为什么从数学的观点讲起来，磁单极的问题和电磁场的问题都是纤维丛。在没有磁单极时，是个平凡的纤维丛，因为它的接榫是 1。有磁单极时，因为它的接榫 S 不等于 1，所以是不平凡的纤维丛。不平凡的纤维丛这两年在物理学中有

很重要的发展，因为大家引进了广义规范场以后，就发现虽然普通的电磁学是一个平凡的纤维丛，而在一个比较广义的，比较广泛的规范场里不可避免要产生不平凡的纤维丛。最近这两年，有个新名词叫做瞬子，瞬子在西方研究得很多。最近两年中国在上海的复旦大学、在北京、在合肥也都有好多人在研究。它的前途如何，因有许多奥妙还未研究出来，所以现在无法预测。

总的说起来，规范场的观念是从电磁学来的。而电磁学是由四个主要实验总结出来的，是通过实验，得出四个定律。这四个定律由麦克斯韦把它数学化。把这个数学化的观念再去想一下，就发现它是个相位因子的想法。通过相位因子的想法，最后得到了普遍的规范场的想法。这些想法每一步，都是因为想把物理现象用数学语言描述出来这个基本要求促使我们这样做的。数学家研究纤维丛已经有 40 年了，他们想法的起源与实际的物理现象是一点关系也没有的。但目前绝大多数物理学家都认为规范场和纤维丛的观念引入到物理中来是一个大家都已接受的事实。关于这一点，我常常觉得这是很可以使我们反省或使我惊讶的一件事情。

磁单极理论进展(1978)

——在东京第 19 次国际高能物理会议上的报告

本文原载《第 19 次国际高能物理会议录》,东京,1978。中译文载《大学物理》,1985 年第 8 期。译者戴显熹,夏道行校。

这是关于磁单极理论最近某些工作的简短综述,所取得的进展归因于某种观念的引进。这种观念将时空分为若干个区域,从而消去奇性弦。这个观念是十分简单的,并将首先加以讨论。

(A) 如何消除奇性弦

磁单极就是磁荷。虽然磁单极的概念必然在经典物理中,在电学和磁学的早期就讨论过,但是现代的讨论还要追溯到 1931 年,在狄拉克(Dirac)的一篇重要文章[①]中。他指出量子力学中的磁单极显示出某些附加的而且微妙的特征,特别是与强度为 g 的磁单极一起存在时,电荷和磁荷必须在量子力学中被量子化。我们将用几分钟的时间对这个结果给出一个新的推导。

如果人们要描写磁单极场中一个电子的波函数,必须找出磁单极周围的矢势 $\vec{A}$。狄拉克选择一个具有奇性弦的矢势。如果我们证明下列定理[②],这样的奇性弦的必要性就是显然的。

定理 考察置于原点的强度为 $g\neq0$ 的磁单极,并考察一围

绕原点、半径为 R 的球面，确实不存在一个在球面上无奇性的矢势 $\vec{A}$。

这个定理用以下方式容易获得证明。如果有一个无奇性的 $\vec{A}$，我们考察环积分：

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu$$

围绕着如图 1 所示的纬度圈，由斯托克司(Stokes)定理，这个球路积分等于通过 α 球冠的总的磁通量。

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu = \Omega_\alpha \qquad (1)$$

相似地我们可以对 β 球冠运用斯托克司定理，得到：

$$\oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu = \Omega_\beta \qquad (2)$$

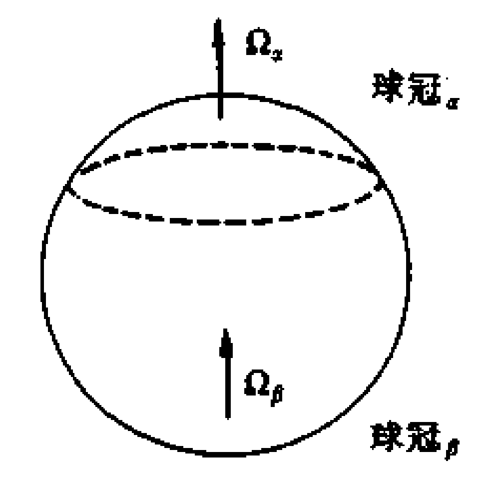


图 1　以磁单极为中心，半径为 R 的球面。纬度圈将球面分为两个球冠 α 和 β。

这里 Ω_α 和 Ω_β 是向上通过球冠 α 和 β 的总磁通量，两者都以纬度圈为边界。将这两个方程相减，我们得到

$$0 = \Omega_\alpha - \Omega_\beta \qquad (3)$$

它等于通过球面向外的总的磁通量，后者应等于 $4\pi g \neq 0$。因此，我们导致了矛盾。证明了这个定理之后，我们考察任意 R 的情况。从而得出结论：描写磁单极磁场的矢势必须有一个或几个奇性弦。

但是，我们知道，围绕磁单极的磁场是没有奇性的，这暗示奇性弦不是一个实质的物理困难。诚然，这种情况使人们回忆起人们在使球面参数化时所遇到的问题。我们经常运用的经纬度坐

标系，就不是无奇性的。它在南极和北极有奇点。但是，球面显然没有奇性。我们通常用类似于图2所示的方法来处理这种情况。我们考察一个确定好坐标的橡皮薄膜，将它伸张并由上面复盖下来，使它覆盖着比北半球更多一些的球面。同样地，我们考察另外一个已确定好坐标的橡皮薄膜，使它伸张并由下而上地卷曲起来，覆盖着比南半球更多的球面。现在，我们有双重坐标系去描写球面上的点。在被每个薄膜所覆盖的区域内，这种描述是解析的。如果在伸张和卷曲的过程中没有使用过暴力的话，交叠的区域将被两个薄膜所覆盖。人们有通过一个解析的非零的雅科比(Jacobi)式可相互转换的两个坐标系。这双重坐标系是使球面参数化的完全满意的方式。

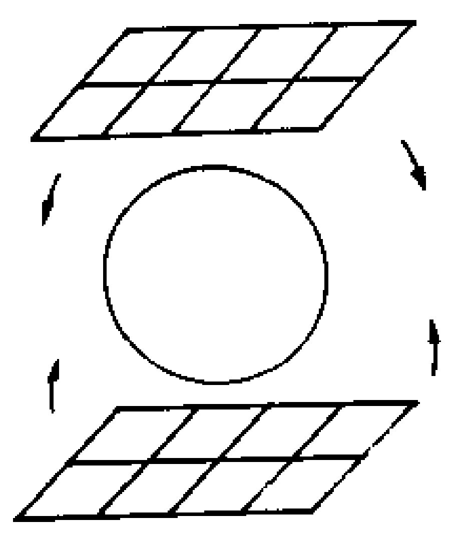


图2 使球面参数化的方法

仿照这个观念，我们现在在磁单极问题中，通过将空间分为两个区域而驱除奇性弦。我们将称图3中原点之外在下锥面的点的全体为区域R_b。相似地，我们将称原点之外在上锥面以下的点的全体为区域R_a。这两个区域的联合，给出原点以外所有的点。在R_a中，我们将取A为只有一个分量——方位角分量不为零的形式。

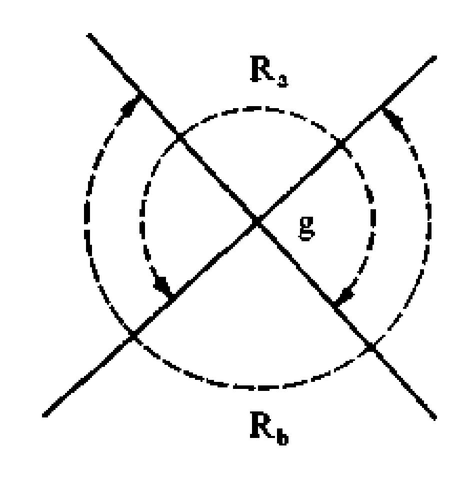


图3 将磁单极外的空间划分为相互交叠的区域R_a和R_b

$$(A_r)_a=(A_\theta)_a=0$$

$$(A_\varphi)_a=\frac{g}{r\sin\theta}(1-\cos\theta) \tag{4}$$

重要的是注意到下面一点：这个矢势在 R_a 区域中处处无奇点。相似地，在 R_b 区域中，我们取矢势为

$$(A_r)_b=(A_\theta)_b=0$$

$$(A_\varphi)_b=\frac{-g}{r\sin\theta}[1+\cos\theta] \tag{5}$$

它在区域 R_b 中无奇点。容易证明，这两个矢势中的任何一个的旋度都正确地给出磁单极的磁场。

在交叠的区域，由于两组矢量都具有同样的旋度，它们的差必须是无旋的，因而必须是一个梯度。实际上一个简单的计算指出

$$(A_\mu)_a-(A_\mu)_b=\partial_\mu\alpha \text{ 其中 } \alpha=2g\varphi \tag{6}$$

φ 是方位角。因而在磁单极场中的一个电子的薛定谔(Schrödinger)方程为

$$\frac{1}{2m}(\vec{p}-e\vec{A}_a)^2\psi_a+V\psi_a=E\psi_a \quad \text{在 } R_a \text{ 内}$$

$$\frac{1}{2m}(\vec{p}-e\vec{A}_b)^2\psi_b+V\psi_b=E\psi_b \quad \text{在 } R_b \text{ 内}$$

其中 ψ_a 和 ψ_b 分别为两个区域中的波函数。在这两个方程中，两个迭势仅相差一个梯度，由这一事实，根据熟知的规范原理我们可知：ψ_a 和 ψ_b 由一个相因子变换所联系

$$\psi_a=S\psi_b \quad S=\exp(iea) \tag{7}$$

或
$$\psi_a=[\exp(2iq\varphi)]\varphi_b \quad q=eg \tag{8}$$

沿着完全在 R_a 内的赤道，ψ_a 是单值的。同理，因为赤道也完全

在 R_b 中，围绕着赤道，ψ_b 也是单值的。因而，当人们绕赤道一周时，S 必须回复到原始的数值，这意味着狄拉克的量子化条件：

$$2q = \text{整数} \quad (9)$$

截面的希尔伯特(Hilbert)空间：

两个 ψ，在区域 R_a 和 R_b 分别为 ψ_a 和 ψ_b 在交叠区域它们满足变换条件(8)，数学家们称它们为截面。我们看到围绕着磁单极的电子波函数不是通常的波函数，而是一个截面。我们将称这些为波截面。

不同的波截面(例如，属于不同的能量)显然满足同样的带有相同 q 的变换条件(8)。由这个定义出发，发展了截面的希尔伯特空间的概念。

进而人们自然地作出对通常球谐函数 Y_{qlm} 到磁单极谐和函数 Y_{qlm} 的推广③。

截面和磁单极谐和函数等的概念本质上与区域 R_a 和 R_b 所选取的特殊分法无关，意识到这一点是重要的。实际上，如果我们将空间分为两个以上区域，它们并无本质上的改变。

磁单极谐和函数的性质，包括 Y_{qlm} 中量子数 m 和 q 之间非常有趣的对称性，在文献④中曾加以讨论。

(B) e 和静止磁单极 g 的相互作用

利用磁单极谐和函数，不难使在一无穷重的磁单极 g 的场中电子的狄拉克方程分离变量(因式分解)，波函数的径向部分呈现出以前曾分析过的困难⑥，利用一个对电子的附加小磁矩克服这个困难，人们得到 e—g 系统的散射振幅和束缚态⑦。其他关于解决这一困难的方法的讨论在参考文献⑧、⑨中可以找到。

e—g 体系具有无穷多的束缚态。正如⑦中所讨论的，这可

能意味着围绕磁单极存在一个正负电子对的等离子体,(⑦中的Ⅸ)提出一个有趣的但是困难的、并且尚未被探究过的问题。

(C) 相互作用的e—g电磁场的经典拉格朗日量

这个问题曾首先由狄拉克于1948年讨论过,由于奇性弦的缘故,狄拉克的文章非常难理解。利用前面讨论的消除奇性弦的方法,问题就显得明朗化了,并找到一个非常简单的拉格朗日量[11]。它有一个特别有趣的特征,在那里,作用量积分仅对模4πeg来说是可定义的,这一点狄拉克就已经知道了。

(D) egγ相互作用的二次量子化理论

这个问题也曾被狄拉克首次讨论过[10],夏道行[12]曾用路径积分开始提出对它的一个二次量子化方案。接着文献[13]对同一问题作不同的处理,它基于利用库仑规范下场论的二次量子化的$e—\gamma$相互作用通常公式加以推广。我们回忆起库仑规范的特征是在理论中仅出现横光子的变量,而"纵场"已被消除。对$e—g—\gamma$的情况,发现适当的推广是库仑规范。没有奇性弦的$e—g—\gamma$相互作用的二次量子化理论正在发展。

参考文献:

① P.A.M Dirac:*Proc.Roy.Soc*.A 133,60.(1931).

② Tai Tsun Wu *and* Chen NingYang:*Phys.Rev*. D12,3845(1975).

③ Tai Tsun Wu *and* Chen Ning Yang:*Nuclear phys*. 13,107,365 (1976).

④ Tai Tsun Wu *and* Cheng Ning Yang:*Phys.Rev*. D16,1018(1977).吴泳时、陈时、郭汉英:中国科学,21(1978)193(英文)侯伯宇、段一士、葛墨林:中国科学,21,446(1978)(英文).

⑤ Yoichi Kazama, Chen Ning Yang *and* Aifred S. Galdhaber: *Phys. Rev.* D15, 2300(1977).

⑥ H. J Lipkin, W. I. Weisberger *and* M. Peshkin: *Ann. Phys.* 53, 203 (1969).

⑦ Yoichi Kazama, Chen Ning Yang: *Phys. Rev.* D15, 2300 (1977); Yoichi Kazama, *Phys. Rev.* D16, 3078(1977).

⑧ Alfred S. Goldhaber: *Phys. Rev.* D16, 1815(1977).

⑨ 戴显熹、倪光炯:高能物理与核物理,2,225(1978).

⑩ P A M Dirac: *Phys. Rev.* 74, 817 (1948) J Schwinger: *Particles, Sources and Fields* (Addison—Wesley, Keading, Mass. (1970and 1973)

⑪ Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang: *Phys. Rev.* D14, 437(1976).

⑫ 夏道行:复旦学报 4, 3(1977).

⑬ 杜东生、吴大峻、杨振宁:中国科学 21, 317(1978)(英文).

建造友谊桥梁的责任(1979)

本文原载香港《七十年代》，1979年4月号。附有该刊编者按：这是杨振宁先生在全美华人协会、全美各界华人和美中友协合办的欢迎邓小平副总理的宴会上的讲话。宴会于1月30日晚在华盛顿举行。

邓副总理、邓夫人、各位贵宾：

我代表全美华人协会和全美各界华人热烈欢迎你们光临这个宴会！

为了写今天这个短短的讲词，我花了很多的时间，稿纸一张一张地都被送到字纸篓里面去。这使我想起40多年前的一个类似的经验。那时候我在北京崇德中学初中念书。为了参加中山公园里面的初中生演讲竞赛，记得我非常紧张，好几个晚上不能睡觉。我的讲题是《中学生的责任》——那是一二·九、一二·一六的时代。

中美建交和邓副总理的访问是近代史上的分水岭性的发展。国际关系从今开始了新纪元。美中两国的学术、文化和商业旅游等一切交流都将大大扩展。我们全美华人家庭团聚的机会也将大大增加。

为了庆祝中美建交，为了庆祝邓副总理和各位贵宾的访问，我们和美中友好协会合办了今天的宴会。我们特别要感谢邓副

总理接受了我们的邀请。邓副总理:你的光临使得在座的500位主人每人都感到他自己也在中美建交这个划时代的历史事件中尽了少许的力量,也在美中两大民族间的友谊桥梁的建筑工程中放上了几块小小的基石!

美中建交是符合两国人民的利益,符合亚洲人民和世界人民的利益,符合历史潮流的发展的。所有中国人都同意只有一个中国,而台湾省是中国的一部分。这是四千年中国历史所孕育出来的观念。台湾和中国大陆有共同的语言、共同的文化。在未来的极度竞争性的世局里面,台湾不可能不和大陆有共同的命运。我们呼吁台湾省的每一个人,为了他们自己和他们子孙的长远利益,都能掌握住历史的动态和他们自己对历史的责任而为统一工作做出贡献。

中美两国领导人自1971年以来为两国建交做了许多工作。全世界人民都要感谢他们。他们的报酬将是历史所必然给予他们的卓见和勇气的正面评价。

我们在美华人有150多年的历史。这150多年间曾经经过血泪的、沉痛的经验,也曾对美国社会的发展作出了巨大的贡献。横断美洲大陆的铁路干线的修建就同时是我们的血泪史和巨大贡献的例子。今天美华人士继续我们对美国社会发展的贡献。我们散居全美各地,这些年来我有机会和各地华人社会作了广泛的接触。我知道得很清楚,绝大多数美华人士都是热烈地支持美中建交的,像《纽约时报》上月所报道的那样。

我们深深知道因为我们同时扎根于中美两大民族的文化,我们对增进两国间的友好和了解肩负着特别的责任。在今天这个场合,全美华人协会和全美各界华人重申我们将继续为建造两大民族间的友谊桥梁尽我们每一个人的责任。我们知道没有这座桥梁,世界不可能有真正的和平与安定。

几何学和物理学

——在耶路撒冷爱因斯坦诞辰 100 周年纪念会(1979 年 3 月)上的演讲

本文原载 To Fulfill a Vision, ed. Y. Ne'eman. (Reading, Mass: Addison—Wesley, 1981.)中译文载《世界科学译刊》, 1979 年第 11 期。译者范岱年。

在这个 20 世纪最伟大的物理学家的百年诞辰纪念会上讲话,我感到十分荣幸。

我讲演的题目是几何学和物理学。几何学是一门起源于对形状和大小作定量研究的科学。几乎在所有的文化中,人类都迷恋于几何学。这或许是人们认为几何结构在艺术中起着重要作用的一个基本理由,我们已从夏皮罗(Shapiro)教授昨天的有趣的讲话中知道了这一点。几何结构也在物理学定律中起着重要的作用,这是一个众所周知的事实,虽然关于这件事的准确理由并没有被真正理解。今天下午,我想向大家描绘一下几何学在当代物理学中所起的错综复杂的作用。

爱因斯坦(Einstein)在他 1946 年的《自述》中曾说:

> 在我的学生时代,最使我着迷的课题是麦克斯韦(Maxwell)的理论。这理论从以超距作用力过渡到以场作为基本变量,从而使它成为革命性的理论。

用今天的符号来写，麦克斯韦方程是：

$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}=4\pi\rho$　　库仑定律

$\vec{\nabla}\cdot\vec{H}=0$　　高斯定律

$\vec{\nabla}\times\vec{H}=4\pi\vec{j}+\dot{\vec{E}}$　　安培定律

$\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\dot{\vec{H}}$　　法拉第定律

这些定律的经验基础是物理学家从18世纪后半叶开始的几乎一个世纪内所作有关电和磁的基本实验推导出来的。由于熟悉这些定律，法拉第(Faraday，1791—1867)得以创造出力线的几何概念和场的概念。法拉第是一位具有深刻的直觉能力的实验物理学家，但他不太精通数学，并没有用数学语言写出他关于电磁的概念。关于他，亥姆霍兹(Helmholtz)曾经写道：

这么大量的普遍定理，它们的有条理的推导需要最高度的数学分析能力，可是他却凭一种直观，凭直觉的可靠性，而不用一个简单的数学公式竟然发现出来，这是十分令人惊讶的。

虽然法拉第发明了场概念，但是发明"场论"这个术语的荣誉，却属于麦克斯韦(1831—1879)。在1865年，麦克斯韦发表了一篇论文，它理应被认为是上个世纪物理学中最伟大的一篇论文。论文的题目是：《电磁场的动力学理论》。其中的两段如下：

因此我提出的理论可以称为电磁场理论，因为它必须处理电体和磁体的邻近空间，它也可以称为动力学理论，因为它假定在那种空间中有物质在运动，通过这种运动引起了观测到的电磁现象。

电磁场是包含并围绕那些处于电性和磁性条件的物体的那部分空间。"

从论文的明确的陈述看来，麦克斯韦的计划就是要以数学的公式写出法拉第已经作为物理观念而想到的东西。在他写作论文的过程中，一旦他把经验定律具体化为方程的形式，他发现有一些前后矛盾的地方，这些只能通过加入“位移电流”才能够消除掉。这一发展具有巨大的重要性，并且说明了直觉常常是多么地不够。精确细致的数学公式是有决定性作用的，因为有了它，人们就能够运用充分发展的数学形式工具来处理问题。

在他加进了位移电流之后，麦克斯韦进一步证明他的方程允许波动解。他推算出波的速度并把它与观测到的光速相比较，得到了十分惊人的结论：光传播就是电磁传播。

当时他所表露的激情可以从他在 1861 年写给开尔文(Kelvin)勋爵的信中的一段话感觉出来：

> 在我对磁效应传播速度和光速的数值相近有任何猜测之前，我就在乡下发现了这些方程，所以我认为我有理由相信磁介质和光介质是同一个东西。……

麦克斯韦曾经告诉法拉第(他比麦克斯韦大 40 岁)，他自己致力于用数学形式来表达法拉第的物理观念。法拉第赞慕年轻的麦克斯韦的努力，但并不十分愉快；正如一个真正的实验物理学家所应该是的那样，他有一点儿害怕太多的数学形式。他害怕太多的数学形式会损害他的物理观念。他的态度生动地表露在他 1857 年写给麦克斯韦的一封信中：

> 我亲爱的先生，我接到你的论文，为此深为感谢。我并不是说我要感谢你是因为你谈论了“力线”，因为我知道你已经在哲学真理的意义上处理了它；但是你必然以为这项工作使我感到愉快，并给予我很大的鼓励去进一步思考。当我看到构造这样一种数学的力来针对这样的主题，起初我几乎是吓坏了，然后我

才惊讶地看到这个主题居然处理得如此之好!

许多实验物理学家今天同样对接受在理论物理学家的语言中愈来愈流行的很深奥的数学感到犹豫不安。

麦克斯韦谈到了光介质即以太。他这样做是十分自然的,因为在麦克斯韦的时代人们所考虑的主要是力学模型,而力学模型当然必须构造在一种介质之中。

在我看来,对"我们是否理解物理学中的某一个特定的论点"的检验是"我们能否作出它的一个力学模型!"

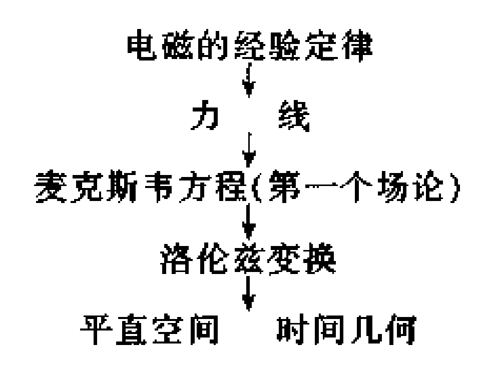
麦克斯韦遵循时代的信仰,设想了很复杂的力学模型来解释他所得到的方程。他对这些模型的态度是很矛盾的。在有些地方,他明确地说这些模型是不必要的和仅仅是教学用的,而在另一些地方他明确地说介质一定是有的。

爱因斯坦在他的《自述》中涉及到这些材料,并且问他自己:为什么物理学家们是如此难以摆脱注定的以太观念?他的结论是,在19世纪,传播必须有一种介质来支持,而"真空"被认为正是"介质"的一种特殊情况。

麦克斯韦方程被许多物理学家所研究。他们之中有赫兹(Hertz, 1857—1894)、洛伦兹(Lorentz, 1853—1928)和彭加勒(Poincare, 1854—1912)。一个特别重要的发展是洛伦兹变换(保留麦克斯韦方程不变的数学替换)的发现。但它需要爱因斯坦的天才来告诉物理学家这种变换的精确意义。

智慧如彭加勒,博学如洛伦兹,都不敢迈出决定性的革命性的一步来重新审查我们的同时性概念,这种概念也许不只是从我们的父母那里学来的,而是在我们的基因中通过百万年的进化而遗传下来的。

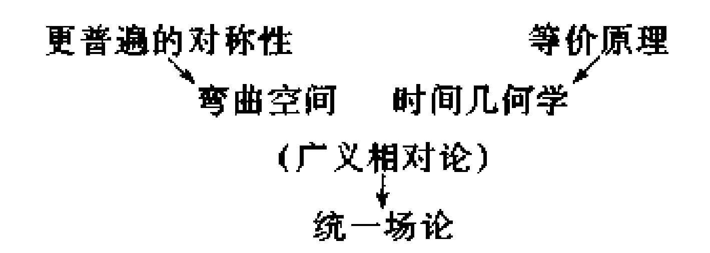
总结起来,我们可以把上述历史进展图示如下:



人们从电磁的经验定律开始，导致法拉第的力线概念，它一旦纳入数学形式，就得出麦克斯韦方程。而后者又促成了场论的诞生，它至今还是今天的物理学中的中心议题。麦克斯韦方程导致洛伦兹变换的概念，通过爱因斯坦的工作，揭示了平直的空间—时间几何。

由此作出一个特别重要的结论(它是由爱因斯坦果断地作出的)是，对称性起着一种特别重要的作用。在1905年以前，方程是从经验推导出来的，而对称性又是从方程推导出来的。然后，——爱因斯坦说——闵可夫斯基(Minkowski)作出了重要的贡献使事情倒转过来。首先你宣告对称性，然后你寻求与它相符合的那些方程。

这一观念在爱因斯坦的心目中深深地扎了根，并且从1908年以来，他就要推广它，把对称性本身扩大为更大的一种对称性。他要求普遍的坐标对称性，而这就是导致广义相对论的动力之一。另一个动力就是等价原理的物理观念。把这两者结合在一起，并就此奋斗了7年多，他终于在1915年给予世界一个弯曲空间—时间几何学和广义相对论。



广义相对论是一种场论。爱因斯坦深深地为他的这个独特创造所感动，并强调应当在这个基础上建立一个能包括物理世界更多东西的理论。在当时，在引力作用之外，只有另一种众所周知的相互作用，这就是电磁相互作用，因此他要建立一个关于这两种作用的统一场论。

在这个研究题目上，他耗费了他绝大部分的余生。在《相对论的意义》的最后一版中，他增加了一个附录，其中他提出一个具有非对称张量 $g_{\mu\nu}$ 的统一场论。张量的反对称部分要等同于电磁场张量 $F_{\mu\nu}$。这种努力不是特别成功的，因而有一个时期在某些人中就有这样的印象，似乎统一的观念是爱因斯坦老年时期影响他的某种固执的观念。诚然，这是一种固执的观念，但是这种固执观念是与对理论物理的基本结构应当是什么的**深刻理解**相联系的。而我还要补充一点，这种**深刻理解**更是今天物理学研究的课题。

不管怎样，这种对统一的强调，立即产生了某些结果。它引导许多杰出的数学家〔包括列维-西维塔、嘉当（Cartan）和韦耳（Weyl）〕更深入地寻求对空间—时间的数学结构的可能补充。

韦耳曾经努力尝试把电磁和引力结合在一起。他的观念导致所谓的“规范理论”。这一发展的时期要回溯到1918至1919年。韦耳设想，既然坐标不变性的适当处理产生了引力理论，一种新的几何不变性也可能与电磁相联结。他的创议是标度不变性：如果 x^μ 和 $x^\mu+\mathrm{d}x^\mu$ 是两个彼此邻近的空间—时间点，又如果 f 是某种物理量，它在 x^μ 是 f，在 $x^\mu+\mathrm{d}x^\mu$ 是

$$f+\frac{\partial f}{\partial x^\mu}\mathrm{d}x^\mu$$

韦耳用一个标度因子（见下表中的第三列）考虑了 f 的依赖于空

间一时间的标度变换。

坐标	x	$x^\mu + \mathrm{d}x^\mu$	
f	f	$f + \frac{\partial f}{\partial x^\mu}\mathrm{d}x^\mu$	(1)
标度	1	$1 + S_\mu \mathrm{d}x^\mu$	
标度化了的 f	f	$f + (\partial_\mu + S_\mu) f \mathrm{d}x^\mu$	

特别要注意标度因子

$$1 + S_\mu \mathrm{d}x^\mu \tag{2}$$

现在韦耳观察到两点。第一，S_μ 和电磁势 A_μ 有同样数目的组元。第二，通过进一步的发展，他证明：要求理论在标度变换时不变，只能有 S_μ 的旋度出现，而不是 S_μ 本身出现。这也是 A_μ 的特征。所以他把 S_μ 等同于 A_μ。

可是这一观念并不成立。有几个人(包括爱因斯坦)讨论了这个问题，爱因斯坦证明韦耳的理论不能描述电磁，韦耳就放弃了这个理论。

后来到了 1925 年，完全与这方面的进展无关的量子力学被发明了。

我们大家都知道，在有电磁的情况下，在古典力学中出现的不是粒子的动量 p，而总是组合

$$\pi_\mu = p_\mu - \frac{e}{c}A_\mu \cdot$$

在量子力学中，这被替换为

$$-i\hbar\left(\partial_\mu - \frac{ie}{\hbar c}A_\mu\right) \cdot \tag{3}$$

这是福克(Fock)在 1927 年指出的〔*Z. F. Phys*. 39, 226

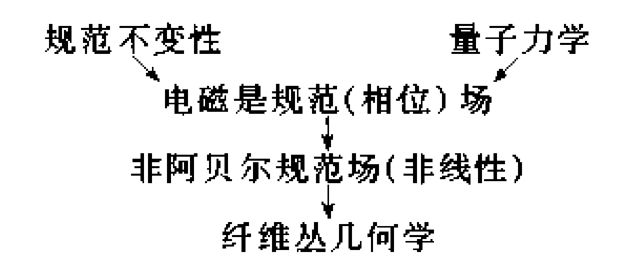
(1927)]。以后，紧接着伦敦(London)[*Z. F. Phys*. 42, 375 (1927)]将(3)和(1)中的增量算符($\partial_\mu + S_\mu$)相比较，并作出结论：S_μ 将不等同于 A_μ，而是等同于 $-ieA_\mu/\hbar c$. 所以仅有的重要的新奇之点就是插入了一个虚数单位 i. 这有深远的影响，即(2)变成为：

$$1-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu \sim \exp\left(-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu\right) \tag{3}$$

这是一种**相位**变化，而不是一种**标度**变化。因此，局部**相位不变性**是电磁的正确量子力学特性。

韦耳自己最初叫他的观念为"量杆不变性"(Massstab Invarianz)，但是后来改为"度规不变性"(Eich—Invarianz)。在20年代初，它被译成英文，叫做规范不变性(gauge—invariance)。

如果我们今天要重新命名它，显然我们应该叫它**相位不变性**，而规范场应当叫做**相位场**。



一旦人们理解了规范不变性是相位不变性，人们就发现关键的观念是**不能积分的相位因子**。用更复杂的相位，即一个李群的一元，来取代简单的复数相位，引导人们走向非阿贝尔规范理论。

可是在历史上，非阿贝尔规范场概念并不是这样起源的。而是起源于下列两个来源。

其中之一是局部对称性概念，它是很简单地走上这条道路的。我们知道质子和中子是很相似的，它们构成一个同位旋双重态。它们并非完全一样，因为一个是带电的，而另一个不带电，又

因为它们有微小的质量差。然而每个人都相信,如果人们能够去掉电磁相互作用,它们就会变得真正等同。现在让我们进入这样一个世界。我们可以叫一个核子为质子,叫另一个为中子,但叫哪一个是中子、哪一个是质子是一个约定的问题。事实上,我们可以取两种状态的任何线性组合,并采取一种约定叫它为质子,并称正交于它的状态为中子。于是产生了这样的问题,是否在这个房间中这种约定的选择同在另一个房间做实验的人相关联,也就是说,是否在不同的空间—时间点的每一个观测者都可以独立地选择约定。

如果你相信约定应该互不相关地被选择,你就不得不构造一个理论,它允许点到点的约定自由。那么你自然而然地得到了一个 SU_2 非阿贝尔规范理论。

第二种导致非阿贝尔规范理论的动机如下。在 50 年代,我们大家都知道,人们已经和正在发现各种类型的介子,它们具有不同的质量、自旋、宇称和同位旋。所以人们忙于试图写下有关它们的相互作用。只要求与洛伦兹不变性和球内部不变性(同位旋)相符合,就有大量被允许的相互作用,因而也没有普遍原理可据以在它们之中作选择。另一方面,任何新粒子的电磁相互作用总是以唯一的方式通过 $p-\frac{e}{c}A$ 的处方被规定下来。这就是说,人们认识到,一旦你有一个守恒量(在电磁的场合是电荷)规范原理允许你以唯一的方式写下相互作用。因为除了电荷还有其他的守恒量,例如同位旋,所以问题就是:“我们能够以完全相同的方法把同位旋双重化吗?”在尝试这样做时,人们得到了普遍非阿贝尔场。

立刻可以看出,非阿贝尔规范场与麦克斯韦场相反,有一种值得向往的性质,即是非线性的。因此它可以在没有外部源泉的

情况下产生它自己。爱因斯坦曾经反复强调我们需要非线性的场论。

非阿贝尔规范场论的另一个吸引人的特征是直接与上述第二个动机相关联的。它允许人们用一个耦合常数写出各种相互作用，这是今天试图把一切强、电磁、弱作用统一起来的中心课题。

我们今天离那种统一还十分遥远，但是近六年的实验已经显示它们与弱作用和电磁相互作用统一的特殊模型惊人地吻合：这就是温伯格—萨拉姆(Weinberg-Salam)模型。这个模型有两个概念上的要素，一个是非阿贝尔规范理论，另一个是破缺对称。

破缺对称的概念是很得心应手的。人们必须适应自然界是不完全对称的事实：质量和耦合常数并非全是一样的。破缺对称机制允许人们有这样的理论，其中相互作用的拉氏函数具有完全的对称性，而它允许不完全对称的实验表示。人们在晶体中找到一个破缺对称的例子。晶体的哈密顿函数有完全的转动对称性。这种对称性在液相中是显然的。但是在低温时，系统变成为固体，它在物理上不再是转动对称系统。换句话说，方程的对称系统，通过对称破缺机制，产生不对称的实验表示。

温伯格和萨拉姆在1967—1968年把规范场观念和对称破缺观念结合起来，构造了一个统一弱作用和电磁相互作用的模型。令人注意的是它的结果与实验符合得很好，虽然从理论观点看来，它只是许多可能的模型中的一个。

我要强调指出，正如在统计力学中一样，在一个破缺对称模型中缺少完全的对称性是一种低温效应。用这种观点看来，在做通常的高能实验时，我们总是探查零度温度的破缺对称规范理论。不管能量多么高，初态总是在零度温度准备的。因此，完全的对称性从来没有在任何能量时实现。可是，假如我们能够到达

一个足够高温的体系，我们就会看到恢复完全的对称性。这是令人满意的，因为这意味着，完全的对称性在原则上可以直接用实验来检验。

也已经有人尝试建立强作用的规范理论，在这方面，以后我们将在这次讨论会中听到许多讨论。

回顾前面关于规范场的历史渊源的画面，我已经在其中列举了物理学家认为在描述实验定律时是必要的那些概念的发展。寻求这些概念的动机渊源于物理现象。因此十分令人惊讶的是人们发现规范场概念等同于叫做纤维丛的几何概念，它是由数学家完全独立地发展起来的，与物理实在没有任何关系。

规范场是一个几何概念，这不仅是正确的，而且其结果的拓扑复杂性对于规范场也是重要的。对这一点的重视是来自狄拉克(Dirac)的磁单极，特霍夫特(t'Hooft)的单极子和贝拉维安(Belavian)的膺粒子解。事实上，正是通过例如由狄拉克的磁单极所必需的拓扑复杂性，才使我变得绝对相信：像麦克斯韦场那样的规范场，不仅可以用纤维丛的几何语言来表示，而且必须这样来表示，才能表达它们的全部意义。

本世纪物理学中基本概念的发展已经纳入了深刻的数学概念的框架：

狭义相对论	四维空间—时间
广义相对论	黎曼几何
量子力学	希尔伯特空间
规范理论	(具有拓扑复杂性的)纤维丛

在这个表中，我们没有列入以数学作工具解决物理学中数学问题的那些应用。

可是，如果认为数学和物理这两个学科重叠得如此之多，那是不对的。它们有明显不同的价值判断，它们有不同的传统。在

基本的概念层次上，它们令人惊异地共享某些概念，但即使在这里，每个学科的生命之力仍然在它们各自的血管中奔流。

中国现代化及其他(1979)
——答香港《明报》记者问

本文原载香港《明报月刊》1979年11月号。附有该刊编者按，谓系6月27日在英国德尔罕市对杨振宁教授之访问纪录，由孙丽珂、陈发霖、谭剑雄据英文录音整理，发表前未经作者过目。收入《读书教学四十年》时，作者作了一些文字上的修改，并用新材料重新写了注①。

中国科学发展和现代化

问：在中国现代化过程中，你认为哪一门纯科学学科，最易于赶上其他先进国家？

杨：我相信数学理论的发展，比较易于为中国快速追上。因为它不需要仪器。至于理论高能物理学，则较为困难，它本身虽亦不要仪器，但得有复杂的实验来支持，所以在没有大型实验室设备的环境下，理论物理学不大能发展得十分完好。

数学研究方面，香港中文大学毕业生中有几个非常出色的数学家，其中一个名字叫丘成桐[①]，现年29岁，已经当了斯坦福大学教授好几年了，他是研究纯数学的，范围包括拓扑学及微分方程，和分析等。另一位郑绍远，和丘是同学，两人曾一同研究了一段时期。他们是近数年来最杰出的青年数学家。丘已经有了大贡献。

问：我相信化学对中国也很重要，但是我印象中好像中国大规模投资的是在高能物理那一类东西上面，而不是化学。中国有石油，似可作这种投资，制造各种化学产品？

杨：恰恰相反，中国投资最优先的，就是采发石油资源，这是事实，只是你不知道罢了。我不相信中国会把高能物理置于石油资源之上。

问：中国好像还没有派留学生到外国念心理学等一类的社会科学？

杨：我想你消息不确，中国去年成立了社会科学研究院。1966 年以前中国科学院属下设有社会科学研究所。中国科学院是一个全面性的研究组织，文革前有超过 100 个研究所，其中只有一所是社会科学研究所，另外有一所独立的心理学研究所，两者都在文革中被撤消了。现在新的政策明显地看到，一个平行于中国科学院的机构成立了，叫做社会科学研究院，院长是胡乔木。社会科学是重要的。去年 11 月社会科学院已经成立了 19 所研究所，不但与文革时比较，即使与文革前比较，都大大扩展了社会科学方面的研究。虽然我在大约 200 个留美中国研究员中，还没有会见过任何一个社会科学的学生，不过我想这些研究机构刚成立，一时可能人才不多。

问：对于中国的四个现代化，杨教授你的看法怎样？是否太冒进了，超出能力了，还是合理的呢？

杨：我所知道的不多，只是从报章上获悉的。我想中国一年半以前所订的计划，很明显，是野心太大了，而该计划最近已有所修正。

现代化过程需要大量资金，虽然中国有雄厚的石油资源，但石油的生产在最初时不会很快速。由于对好些困难预测不到，中国最先作了非常庞大的计划，可能是求治之心过切。后来与西方

的谈判,使中国意识到:投资者很会精打细算,他们想在投资之前,对收回利润有所保障。我想在这方面,中国当初对西方资本国家的心理,亦有些错误的理解。他们以为有了雄厚的资源,西方会愿意以每年约600亿美元的投资额在中国投资,但明显地,情形并非如此。因此在一系列的会议中,已适当的放慢脚步。我想放慢是好的,因为原计划不切实际,若让不切实际的计划执行太久,将来会事与愿违。不少错误目前已经发生了,但未足以真正致害。我想修订过的新的现代化计划更为明智,我相信从这个经验,中国必然学会怎样处理国际财务的安排。中国有资源——人力与物资,这一点毫无疑问。我想,加上正确的管理,现代化目标最终会达到的,这个目标是不大可能会改变的,是基本的且是长期性的政策。

问:如果在现代化过程中不再那么强调理想主义,而人民过份以金钱报酬为动机,会不会带来一些坏作用呢?

杨:这是一个复杂的问题,管理一个人以上的事总是困难的,更不要说管理10亿或9亿人民。我想你所指的危险确是存在的:与西方太多接触——而我认为这是好的而且必需的——一定会带来很多问题,必定要以中国人民和政府的综合智慧和预见来解决其中困难。不过其中的困难也不一定全是坏的就是了。

我举个例子,有人到过日本,说有许多事情很可怕,我说怎么可怕呢?他说你到日本的博物馆,会发觉很多重要的日本画家都在做现代艺术,结果甚为恶劣。但是我对他说,不要担心,日本有能力模仿别人,虽可能作出很多错误,但最终能够吸收好的部分成为他们自己的东西,这是已经重复地出现过的。在这方面日本人可以说真有了不起的能力。不错,他们善于模仿,但他们会吸收好的部分,而最后排除坏的部分。这里面有个实验时期。如果你单看这个实验时期,你会说可怕极了,日本正在摒除传统中所

有好的部分了，但是他们最终不会那样的。

他们采用了中国文化，但他们并没有变成中国人，他们也模仿中国绘画，但他们只是将若干特别的部分，加以汲取，而发展成为别具一格的日本艺术，他们的审美观足为世界之模范。

事实上应该遗憾的倒是中国，不少源于中国的好东西，现在你发觉是在日本发展得比在中国好了。我举个例，盆景，盆景源于中国，其意念源于中国，其方法也来自中国，用浅泥盆，这是在中国创始的。日本人拿了过去，加以发展，毫无疑问，他们已发展了日本的盆景艺术，而其成就比在中国能看到的盆景更高超，当然一方面也因为他们作了更好的宣传。所以现在，“盆栽”是日本名词，如果你讲盆景，很多西洋人便不懂了。

问：围棋也一样嘛？

杨：无疑日本人下围棋比中国，包括台湾地区的人都好得多，日本人民就是有这个特点，我想很值得其他民族去研究，去仿效。

我想这当中教训我们：吸收别人的东西并不坏，但必须排除对你可能有坏影响或无用的部分，同时转变及模铸好的部分，变成自己的。日本照相机完全控制了世界市场，德国人几乎已经放弃了生产。日本现正全力发展计算机工业，美国对此颇为担心。因为他们知道如果日本人加入来竞争，会是一群极有力的竞争者。

问：你认为近代科学未有在中国独立发展的原因是什么？

杨：这是一个很有意思的问题。李约瑟[2]曾经做过详细的研究，我不是说他的分析一定对。他曾列举出一系列的因素，包括社会观念和经济结构等，但并没有中肯地回答这个问题。曾经有人问是否中国人的头脑未能与科学发展相适应？但是新中国和海外华人，近年来在科学技术及其他很多方面所取得的成就，

已使这个问题不再困扰中国人,而外国人也不再持以往那种讲法了。

问题很简单,如果有适当的环境,中国人的遗传因子在科学发展的各方面不会比世界上其他民族为差。

问: 最近《新科学家》[③]周刊有篇文章,比较人种与智力的关系,文中指出,中国人及日本人在智力测验上面,通常都比白人为高,你对这结论的意见如何?

杨: 很多智力测验的结果并不能尽信,而一般中国及日本的家庭比白人的家庭更鼓励孩子们努力向学,这一因素不能忘记。但我可以在这个问题上作个补充。美国 Westinghouse 公司每年从全国选出 40 名在科学课程中成绩超卓的中学毕业学生,给予奖金入大学。我收集了其中连续五年的名单,稍作分析。根据美国的人口统计,日裔及华裔的美国人各占美国人口约千分之三,但在该五年的名单内,华裔占百分之七(14 名),日裔占百分之二(4 名),由此看来,在美国的华人在科学方面的智力及成绩实在绝不比其他民族逊色。

中国语文的问题

问: 我想请教另一问题,自然科学和社会科学,有好些名词,很难翻译成中文,对这个问题杨先生你有什么看法呢?

杨: 传统中国语文原来所没有的概念,中国都会订出新的专有名词,好像物理学不少新的专有名词都已经翻译出来了。

我告诉你我自己的经验,1944 年的时候,我正要去美国,在等待签证期间,在中学教书,教中学代数,所用的是《范氏大代数》。我自己学微积分和代数用的都是英文课本,所以我起初任教的时候不知道那些专有名词的中文,而我的学生大多数不懂英文。但是,这个困难一两星期就解决了。把那些专有名词翻译成

中文是很容易的。

1971年我第一次回到中国的时候,作了若干次讲学。内容都属于研究项目,是我在美国学的,我当时不知道它们的中文译名。但它们事实上已经给译成中文,而且有字典出版了。所以我讲到某一个我不懂中文译法的名词时,就把它写在黑板的角落上,懂英文的人便告诉我它们的中文译名。大约一个小时以后,我在黑板角落上已经写下了20个名词,这大大有助于我的记忆,因为同样的名词重复出现。现在我用中文讲我的专题研究,已经没有困难了。可以说这个"困难"并不是真正的困难。现在不少华人学者在中国讲学,在这方面也没有困难。

问:现在中国一片向外学习声中,有必要对中国本身的种种优点同样重视,但在这方面,中国当局有没有给予足够的强调呢?例如我越读英文就越觉中文好,构造方面比英文合逻辑,这便是应强调的优点这一吧?

杨:我不完全同意你的说法。中国语言比之英文有优点,但并非在逻辑方面。不错,高程度发展的文字有简化的现象,但我认为中文亦有缺点,便是缺乏严格定义的子句(clause)结构。比如在科学或法律方面碰到需要在子句中再有另一子句时,你会发觉很难译成中文。因为中文没有关系代名词,如that、which之类,使子句精确,所以一般只好写成两句句子。但法律上长句是可以更精确地作出定义,否则逻辑上便很可能被分裂了。所以在科学及法律上句子要有精确结构及句法,在这方面中文有很大的缺点。

但中文用来写诗则极好,原因也如上。因为写诗不需要精确,太精确的诗是不好的。中文诗很少介词,如果想把中文诗译成英文诗而保持中国味道,则不要加入介词(Preposition)。有一个美国诗人安格尔,他太太是聂华苓,他们两人译毛泽东诗词,颇

为成功，已再译成法文。其他人为了译得像英文诗一些，便加入中文原文中所无的介词，但安格尔夫妇意识到加了介词便改变了意境。

就像抽象派画。西方画起初比较精确，后来他们发觉精确不一定好，所以出现了抽象派画。写诗也是。我想中文有好处有坏处，我认为应倡导把欧洲语言中比较精确的句子结构，其中若干特色，引入中文句子结构中去。

女作家於梨华，颇为受欢迎，她住在纽约州。她是台大毕业的，后来念 UCLA。读她的小说你会发觉她的句子结构与许多30年代著名的作家不同，原因在于这些30年代作家的写作根柢是古典中文，古典中文写作不长于逻辑性，不长于构句的严谨性。而於梨华明显地大量借用了英文句子结构。我想以后会有越来越多作家采用这种句法，未来的中国语文将受影响。除此以外，有没有可能引入其他好的，例如相当于关系代名词的结构呢？这要语言学家去研究了。

英文可说是最多语汇的语言之一。好处是可以表达更复杂的内容。中文另一缺点是字典排列不便及缺乏简单打字机。我认为值得研究是否中文最终要改为罗马化的可能性。不过这绝不是未经彻底研究而能作出的决定，否则一下子会带来混乱。

一个极好的反例是日本借用中国字，叫汉字，已经成了日文的一部分。他们曾经有过摒除汉字运动，但没有成功，所以现在他们大约用1000多个汉字。从前他们写诗用汉字，现在也写没有汉字的诗，也有两者都用的。以前他们写诗全部用汉字时，读诗时由于日本句法不同，要用数字一二三四标出次序，是很滑稽的勉强的办法。

我想中文的改革，如果发生这种混乱的情形，便当绝对避免，如何避免呢，当然就要在改变前认真地研究。

问：至于用拼音又如何？它是用字母去直接译中文的音，是否就可既能字母化又能保存中国文字的特征？

杨：用拼音有些难题，第一是用单音还是复音呢？第二是中国字有很多同音异义的字。第三是用了复音字对于字的来源就变得不清楚了。第四是如何翻译古书的问题。第五是方言的问题。

我认为如果要实行汉字完全拼音化，先应作学术研究方面的小规模试验，然后较大规模的实验，例如，可放到一个市去实验数年，然后再全国集体讨论，才作最后决定。

苏联的侵略性

问：中国最大的威胁是苏联，请问杨教授你对苏联有什么看法？

杨：从心理上说，中国能够承认在科技方面比许多国家远为落后，这是因为中国有悠久的历史与文化，没有文化自卑心理所使然。但如果你同苏联科学家或者苏联人民谈过话，你会意识到苏联对西方世界有很深的自卑心。

19世纪时俄国被西方当作“东方”的一部分，俄国人对此甚为介意，这是深潜于俄国民族的心理里的。这种心理，到现在他们仍抛不掉，俄国想在文化上成为西方的一部分，而对那些把俄国不当作西方一部分的人，表示很不满。这种自卑情意结，中国没有。一个具体例子是，你会发觉苏联的百科词典及科学著作中，将很多科学概念及发明都当作始源于苏联。中国没有那样做。

问：这会不会只是苏联政府对自己人民的一种宣传手法而已呢？

杨：我讲的是苏联人民心理中最根深蒂固的，可以追溯到沙俄时代，而不是苏联政府的发明。

他们仰慕西方，他们想要与西方认同，但他们却感到西方并

不承认苏联是西方的一部分，这恰好解释他们自卑情意结(Inferiority Complex)的来源。

在苏联，他们深深自觉到蒙古(东方民族)与高加索的种族大为不同，这是深植于苏联人心理之中的，也许可以从两件俄国历史中的重大历史事件来找根源：

一是蒙古人统治了俄国的一部分差不多有300年，如果你到俄国去同他们倾谈，你会发觉“蒙古人的侵略”在俄国人脑海中比希特勒的更为印象深刻。你只要同任何一个俄国人谈15分钟，就会意识到这对俄国人有多么深刻的影响。

另外就是俄国之败于日本。他们的失败对俄国人心理上的巨大影响比其他异族入侵要强得多，这是因为他们不顾一切地想要成为西方的一部分。而他们想排除俄国与东方的任何联系。中国在50年代作了一首歌叫《东方红》，俄国人不喜欢这首歌，中国方面觉得奇怪，就是因为不了解俄国人这种心理。

在苏联，你会感觉到强烈的“反东方”情绪，随处可见。在某方面而言是难以理喻的，因为苏联也有不少东方少数民族，例如在乌拉尔区，人口中很多是鞑靼人。我在莫斯科到过一个博物馆，一个苏联的大学毕业生带我去，在一个大堂里，地方很宽敞，正有几百个小学生聚集在一起，全都在观看房间里唯一的一幅图画。我说我一定要看看那幅画是画什么的。近前一看，那是一幅很精细描绘的油画，精细到可与Dali相比。这幅画使孩子们那么有兴趣，是因为上面画有很多堆骷髅头，在一个沙漠似的地方，有数百堆的骷髅头，气氛可怕。于是我问我的导游萨沙，这幅画讲的是什么，他说，这幅画是关于鞑靼统治下俄国的遗迹。

在我想象中，这是难以理解的，因为莫斯科也经常有很多鞑靼人来探访这座博物馆。这无疑是苏联政府的方针，而这个苏联政府的政策，刚刚投合了传统的俄国人反东方情绪心理。

问：他们的统治，确有一点反少数民族的情形？

杨：对的，但苏联人特别反东方。一天傍晚，吃过饭以后，我与几个苏联著名物理学家一起散步，我于是告诉他们我看这幅油画的经验，接着我又告诉他们关于物理学家彼得弗若昂地（芝加哥大学物理教授）的故事。彼得对我说，他个人观察的结果是，苏联人民有很多反日本人的行动。莫斯科到处都是日本游客，而他观察到为数不少的歧视行动。我们在莫斯科相遇的时候，他第一句问我的话就是：你有没有遭受到反东方人的行动。我说没有。那大概是因为萨沙一直陪着我的缘故。他替我买票，兑换钞票等，所以我没有与苏联民众真正接触。

我对几位苏联物理学家讲了上述的事情，我说我的感觉是：在俄国民族心底里有一种反东方的意念，这是由于苏联政府对反华的鼓励，加上有一股深远的反东方人的传统，同时他们对19世纪西方人把俄国列作“东方”深表忿恨。我请他们评论，这是不是真的。他们马上用俄语激烈辩论起来，几分钟后，其中一个对我说这有一点真实性。

问：中国声称受到苏联很大的威胁，但西方有些批评家却说这可能有点偏见，你的看法怎样？

杨：我想中国方面的话是比较可信的。最近有一本新书出版，作者是维克多·路易士（Victor Louis）。书名叫 *The Coming Decline of the Chinese Empire*。

你们知道维克多·路易士是谁吧，他是著名的KGB人员，住在伦敦，表面上是几种英国报纸的新闻通讯员，但众所周知他是KGB的活跃要员，在苏联拥有两座别墅，他是苏联公民，并经常回到苏联。

这本书完全是一派胡言，它说中国无法解决她的少数民族问题。它说中国少数民族将要求独立。

而它威胁说，一旦这种事情发生，苏联就一定予以援手。这是个藉口，他们想混淆世界视听，苏联如果一旦要侵略中国，也会用这个藉口。

如果你见到这本书，该买来一读。这本书还有一篇很有趣的别人介绍此书的前言。通常这类前言是对该书恭维的，但这篇前言却完全是对该书的批评。

前言作者是美国《纽约时报》的杰出特约员 Harrison Salisbury，文中提及：这是一本重要的书，特点是它有“淫秽”的处理(所指不是色情方面，而是它内容的猥秽不真实)，但不失为值得一看的书，因为它反映了一些苏联重要人物的想法。这本书开头的一章是讲“满洲”，内容荒谬，它说满洲人民想脱离中国独立。路易士先生甚至完全没有看中国近代史，满族过去不错是有过不同的文化，但现在已经被吸收到中国文化中去了。但他假装没有这回事，仍然追溯到十八九世纪。他为什么这样做？我相信这是苏联在某个时候侵略满洲可能用到的一个藉口。

你问我苏联是否对中国有侵略性，人们应当信中国的话还是信苏联的话，我想只要你阅读一下这一类书，你马上便会信服：苏联是世界上最具侵略性的国家之一，而且它是最危险的国家。

注：

① 丘成桐于1982年获得费尔兹奖(Fields Medal)。该奖是国际数学界之最高荣誉。他毕业于香港培正中学，中文大学。在加州大学(伯克利)获博士学位。现任加州大学(圣地亚哥)教授。

② Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*, Vol. I—V. Cambridge University Press.

③ H. Eysenck, S. Rose, *Race, Intelligence and Education*, New Scientists, Vol. 82, No. 1146(15 March, 1979), 849—852.

《於梨华作品集》序(1979)

本文是作者为香港天地图书公司出版的《於梨华作品集》所写的序言。

在台、港留学生的书架上常常看到於梨华的小说。谈天的时候，大家也常常提到她书中的人物。她拥有这么多的读者，当然不是偶然的。我想大家喜欢她的作品，原因恐怕不尽相同。我自己喜欢看她的书，主要有两种原因。一方面我欣赏她对人物的性格和心理状况的细致的观察。另一方面我很高兴她引入了不少西方文字的语法和句法，大胆地创造出既清畅可读又相当严谨的一种白话文风格。我觉得在这两方面她的成就都超过了许多30年代的作家。

於梨华是一位时时向新的领域进军的工作者。天地图书公司搜集了她这些年来的小说，出版这一个总集，便利大家比较她不同时期的观点和技巧，是包括我在内的读者们所非常赞成的盛举。

杨振宁

七九年夏于日内瓦

爱因斯坦对理论物理的影响(1979)

1979年，是爱因斯坦百年诞辰，世界各地开会纪念。7月，在意大利特里亚斯特(Trieste)举行的第二届马赛耳·格罗斯曼会议上，作者作了这篇报告。原载 *Physics Today*，1980年6月。中译文载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985年。译者甘幼玶、黄得勋。

对称支配相互作用，几何是物理的核心，形式美在对世界的描述中极为重要，这些都是对当前的思想有着深刻影响的见地。

本世纪初，发生了三次概念上的革命，深刻地改变了人对物理世界的认识。这三次革命是：狭义相对论(1905年)，广义相对论(1915年)和量子力学(1925年)。爱因斯坦本人发动了头两次革命，影响并帮助形成了第三次革命。然而，我这里所要谈的，并非他在这些概念革命中的工作。关于这方面的文章已经不少了。我要概略讨论的是爱因斯坦对理论物理结构的见地及其与本世纪下半叶物理学发展的关系。我的讨论将分作四部分，当然，这四部分是密切相关的。

对称支配相互作用

基础物理学中发现的第一个重要的对称原理是洛伦兹(Lorentz)不变性。这是作为麦克斯韦(Maxwell)方程的数学性质而

被发现的，而麦克斯韦方程则是在电磁学实验定律的基础上建立起来的。在这一历史过程中，不变性，或者说对称性，只是次要的发现。后来赫曼·闵可夫斯基(Hermann Minkowski)倒转了这一过程。爱因斯坦在其自传笔记[①]中对此大加赞赏。闵可夫斯基引入的观念是从洛伦兹不变性入手要求场方程不变，如表 1 所示。

表 1 对称性与物理定律

爱因斯坦和闵可夫斯基之前
实验──→场方程──→对称性(不变性)
爱因斯坦和闵可夫斯基之后
对称性──→场方程

对称原理的巨大物理成果给爱因斯坦留下了极为深刻的印象。他于是悉心研究以求扩大洛伦兹不变性的范围。他的广义坐标不变性的想法，加上等价原理，导致出了广义相对论。所以可以说，是爱因斯坦首先用了对称支配相互作用这一原则。它是近年来出现的各种场论的基础，这些发展包括：

- ▶ 坐标变换不变导致广义相对论
- ▶ 阿贝尔(Abel)规范对称导致电磁学
- ▶ 非阿贝尔规范对称导致非阿贝尔规范场
- ▶ 超对称导致费米(Fermi)子和玻色(Bose)子间的对称理论
- ▶ 超引力对称导致超引力场论

场论与统一

1920 年以后，爱因斯坦在他的论文及讲演中反复强调，场概念对于基础物理具有核心重要性。例如，1936 年，他在刊载于富兰克林学院学报上的一篇论文中写道[②]：

> 法拉第(Faraday)和麦克斯韦的电场理论把物理从这不能令人满意的局面下解脱出来，这也许是牛顿时代以来基础物理的最深远的转变。

那个时候(1936年)已知的两个场论，一是麦克斯韦的理论，一是爱因斯坦的广义相对论。爱因斯坦在他生命的最后20年致力于将这两个理论统一起来。1934年，在一篇题为《物理学上关于空间、以太及场的问题》[③]的论文中，他解释了这样做的必要性：

> ……存在着两种互相独立的空间结构，一种是度规—引力，一种是电磁……我们被激起这样的信念，即这两种场必须结合成统一的空间结构。

在《相对论的意义》一书的最后版本中，爱因斯坦加了一篇附录，里面提出了一个有非对称度规 $g_{\mu\nu}$的统一理论。反对称部分被认为是电磁场张量 $f\mu\nu$。这一努力并不特别成功，以致有些人曾一度有一种说法，以为统一只是爱因斯坦晚年的一种奇妄的想法。是的，这确是奇妄的想法，可是是有洞察力的奇妄想法，是洞察到理论物理学的基础结构的想法。今天，我应该加一句，爱因斯坦的这个想法已成了基本物理学的主题。

而且，爱因斯坦对统一的强调立刻产生了效果。它使好些杰出的数学家，包括杜利奥·列维-西维塔(Tullio Levi-Civita)、埃利·嘉当(Elie Cartan)和赫尔曼·韦耳(Hermann Weyl)等更深入地探索对时空的数学结构进行增补的可能性。

自1918、1919年开始，韦耳努力要将电磁学与引力结合起来。他提出了“规范理论”[④]。既然正确处理坐标不变产生了引力理论，韦耳认为一个新的几何不变性能够产生电磁理论。他因而提出了规范不变。

如果 x^{μ} 和 $x^{\mu}+dx^{\mu}$ 是相邻的两个时空点，f 是某物理量，它

在 x^μ 为 f，在 $x^\mu + dx^\mu$ 为 $f + (\partial f/\partial x^\mu)dx^\mu$，韦耳研究随时空而变的 f 的重新标度。如表 2 中最后两行所示。请特别注意第三行所给的标度因子

$$1 + S_\mu dx^\mu \quad (1)$$

表 2　标度变换

物理量	在第一点上的值	邻近一点上的值
坐标	x^μ	$x^\mu + dx^\mu$
场	f	$f + (\partial_\mu f)dx^\mu$
标度	1	$1 + S_\mu dx^\mu$
换了标度的场	f	$f + (\partial_\mu + S_\mu)/f dx^\mu$

〔上面应用了记号 $\partial_\mu = (\partial/\partial x^\mu)$，并且用了求和惯例。〕

关于此标度因子，韦耳观察到两点。第一，S_μ 有着与电磁势 A_μ 同样数目的分量。第二，经过进一步研究，他证明如果要求这个理论在标度改变(1)下保持不变，那末只有 S_μ 的旋度，而不是 S_μ 自身有物理意义。而这也正是电磁势 A_μ 的特点。因此，他认为 S_μ 和 A_μ 乘一系数等同。可是这一想法行不通。好几位物理学家为此进行了讨论，其中包括爱因斯坦。爱因斯坦证明韦耳的理论不可能描述电磁学。韦耳于是放弃了他的想法。

到了 1925 年，量子力学问世，这是与韦耳的理论完全无关的发展。

大家知道，在经典力学中，在有电磁力参与的情况下，出现的不是粒子动量 P_μ，而总是下面的组合：

$$\pi_\mu = P_\mu - (e/c)A_\mu \quad (2)$$

在量子力学中，π_μ 变成

$$-i\hbar[\partial_\mu - (ie/\hbar c)A_\mu] \quad (3)$$

这是由符拉基米尔·亚历山大罗维奇·福克(Vladimir Alexandrovitch Fock)于1927年指出来的[5]。紧接着，弗利茨·伦敦(Fritz London)将(3)和表2中最后一公式中的增量算符($\partial_\mu + S_\mu$)作了比较[6]，得出结论说，S_μ 不和 A_μ 等同，而等同于($-ie A_\mu/\hbar c$)。这和韦耳的最初设想的不同只是加入了一个因子 $i=\sqrt{-1}$。可是这个因子影响深远。公式(1)因而变成了

$$1-(ie/\hbar c)A_\mu dx_\mu \rightarrow \exp[-(ie/\hbar c)A_\mu dx^\mu] \tag{4}$$

这是相位的改变而不是标度的改变。因此，局部的相不变是电磁现象的量子力学特性。

韦耳自己开头曾经将这一概念称为"Masstab Invarianz"，后来又改称"Eich—Invarianz"。20年代初，这一名称被翻译为英语，叫作"Gauge Invariance"，以后中译为规范不变。若我们今天将它重新命名，很明显，应该称之为相不变。同样，规范场其实应当称为相场。

一旦懂得规范不变即相不变，便会发现，关键是一个不可积分的相因子。如果用复杂的相[即李(Lie)群的一个元素]，取代简单的复数相，便进一步得到非阿贝尔规范理论。这个推广最初于1954年被提出。

这里我们要强调，相的概念在现代物理学中具有巨大的实际意义。例如，超导理论、超流理论、约瑟夫逊(Josephson)效应、全息术、量子放大器及激光等，都以各个不同形式的相概念为根基。

1967年，史蒂文·温伯格(Steven Weinberg)和阿布道斯·萨拉姆(Abdus Salam)各自独立地提出了一个电磁与弱相互作用统一理论的模型。此模型基于两个关键概念：非阿贝尔规范场及破缺对称。又由于谢尔登·格拉肖(Sheldon Glashow)的工作，认识到需要一个重要的进一步的思想来消除模型与实验之间的矛盾。

最近六年来,此模型取得了令人惊异的实验上的支持。这一成功激发出一个蓬勃的局面,使许多人在为强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用一起的更大的统一而努力。我认为,我们离成功的大统一仍然还有一段距离,而离这些相互作用与广义相对论的全盘统一更远。可是,已经不容怀疑的是爱因斯坦洞察力的深与准:他曾面对种种公开和未公开的批评,始终坚持统一的重要性并勇敢地为之辩护。

物理学的几何化

在爱因斯坦关于理论物理基础的信念中,另一个经常出现的主题,出自爱因斯坦对几何概念的偏爱。这并不奇怪,因为提出重力和力学应该用黎曼几何来描述这个意义深远的概念的人,正是爱因斯坦自己。他认为,电磁学也是几何的。这个观点在他1934年发表的上面引过的一篇论文中已很清楚地提到:他在该文中说,电磁学是一种空间的"结构"。如果我们接受爱因斯坦偏爱几何的论点,那末甚至可以把这论点进一步发挥,认为爱因斯坦喜欢波动力学,因为它比较几何化,而他不喜欢矩阵力学,因为它比较代数化。

爱因斯坦竭力要找出产生电磁学的那种几何结构。他了解这样一个事实,即洛伦兹不变并不足以导出麦克斯韦方程[7]:

> 麦克斯韦方程导致"洛伦兹群",但"洛伦兹群"并不导致麦克斯韦方程。

例如,标量场看来比麦克斯韦的电磁场简单,也不违背洛伦兹不变性,但却不是电磁学的基础。

爱因斯坦也深刻认识到必须有一种导致非线性方程的几何结构[1]:

正确的定律不可能是线性的，它们也不可能从线性导出。

原来，爱因斯坦在寻求的结构是规范场：正如我们将要讨论到的那样，它是一种几何结构；最简单的阿贝尔规范场是麦克斯韦的电磁场；而非阿贝尔规范场必定是非线性的。

前几分钟我们谈过规范场的初期历史。只是到了近年，物理学家才懂得规范场和纤维丛(Fiber Bundle)上的关联(Connection)这个几何概念有密切关系。为了显示规范场的几何本性，让我们把高斯定律和法拉第定律写成下述大家熟知的形式：

$$\partial_\lambda f_{\mu\nu} + \partial_\mu f_{\nu\lambda} + \partial_\nu f_{\lambda\mu} = 0$$

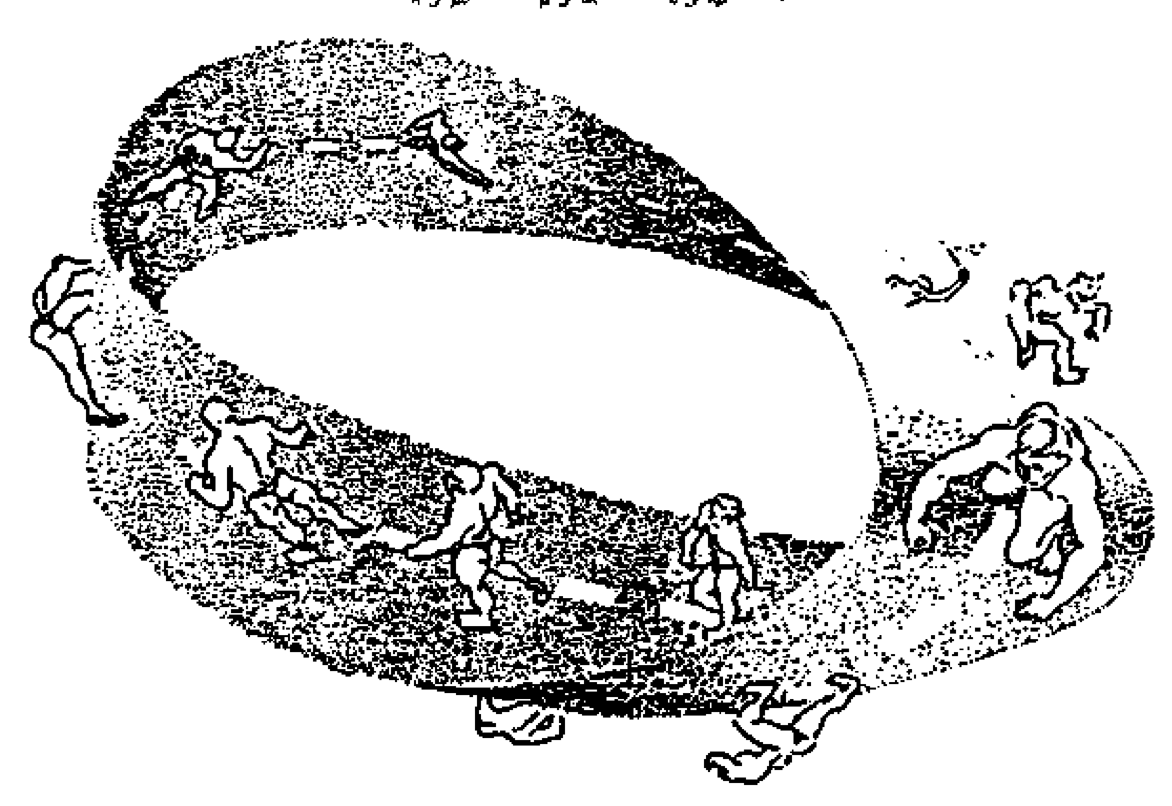


图 1

一个区域的边界是没有边界的。此缪毕乌斯(Moebius)条带仅有一个表面，其边界是单一边缘，可是边缘本身并无边界。关于此定理的进一步解释，见图 2。〔文内所有插图皆由路易斯·富尔干尼(Louis Fulgoni)作。〕

式中 $f_{\mu\nu}$是电磁场。可以证明，这个方程和“一个区域的边界本身

并没有边界"这个定理有深刻的关系，而此定理当然是一个几何命题(参看图 1 与图 2)。规范场的几何本性的另一个表现可以从这样一个事实看出，即通过下述理论和实验上的发展，对规范场来说，全局(Global)的考虑变得重要起来：

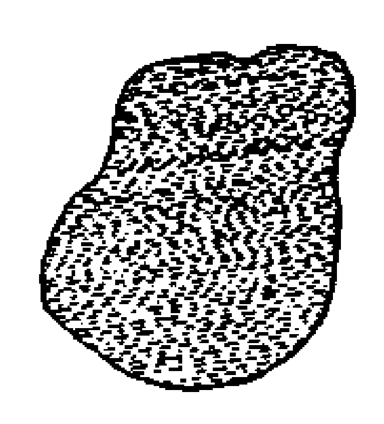
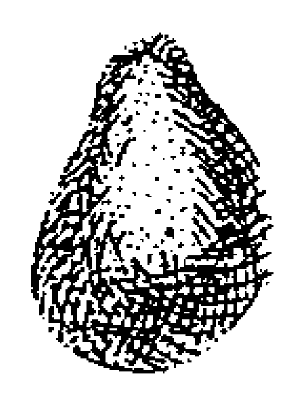
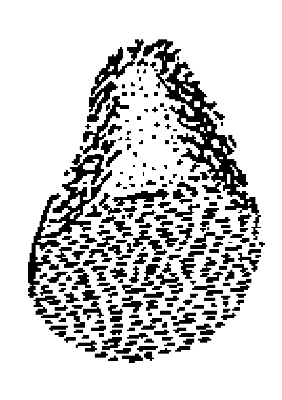




图 2 拓扑学定理

一个区域的边界本身没有边界。在左图中，带阴影的二维区域有一个一维圈作其边界。此圈没有端点，即它本身并无边界。

中图的三维区域由一个封闭的二维曲面限定其范围。这个曲面同样无边缘，也就是无边界。

若我们将此区域割开，抛去下部，则给了曲面一边缘。但同时我们另外创造出一个平面，如右图所示。此图中的三维区域的边界包括两部分，一为曲面，一为平面。每一部分都有边界，这两个边界正好方向相反，互相抵消，所以右图的三维区域的总边界也没有边界。

- 狄拉克的磁单极(1931 年)
- 博姆—阿哈罗诺夫(Bohm—Aharonov)实验(1960 年)
- 特霍夫特—泡利雅柯夫(t'Hooft—Polyakov)单极(1974 年)
- 瞬息子(Instantons)(1975 年)

图 3 阐述了上述思想。

规范场本质上也同广义相对论有关，而后者的基础是几何概念。但它们之间的准确关系相当难以捉摸，目前仍在探讨。

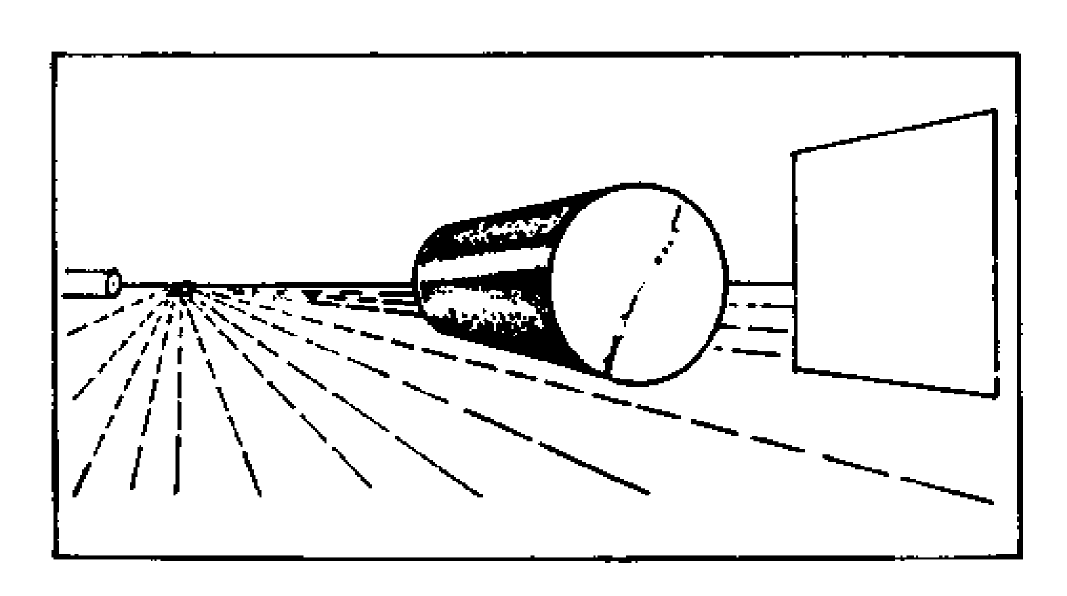


图3　规范场的全局效应

强度为 g 的磁单极是一个简单而自然的概念。狄拉克在 1931 年指出，在量子力学中，g 值与电荷 e 的关系必须由下述条件决定：2eg/ħc = 整数。原来，这个条件是拓扑学里非常普遍且意义深远的陈—韦尔(Chern-Weil)定理的一个最简单的特例。陈—韦尔定理的又一个最简单的例子是 1975 年发现的 SU_2 规范场的所谓“瞬息子”。特霍夫特—泡利雅柯夫单极是某种规范场的无奇点解。它的存在与拓扑性质有关。

博姆—阿哈罗诺夫实验是 1959 到 1960 年间提出并进行的。如图所示，由电子源发出的电子从一个长螺线管两旁经过，但不能进入管内。电子在屏幕上产生一个干涉图案。螺线管外既没有电场，也没有磁场，因此电子没有受到电磁力。然而干涉图案却与管内的磁通量有关。这表明电磁的效应并不完全是局域的。

关于理论物理的方法

1933 年，爱因斯坦在他的赫伯特·斯宾塞(Herbert Spencer)讲座中，以本节的小标题为题，分析了理论物理的意义及其发展。下面几段令人注目的文字就是引自他的演讲[8]：

……理论物理的基本假设不可能从经验中推断出来，它们必须是不受约束地被创造出来……

> 经验可能提示某些适当的数学概念，但可以非常肯定地说，这些概念不可能由经验演绎出来……
>
> 但创造寓于数学之中。因此，在某种意义上我认为，单纯的思考能够把握现实，就像古代思想家所梦想的那样。

爱因斯坦是否在说，基础理论物理是数学的一部分？他是否在说，基础理论物理应该具有数学的传统和风格？答案是否定的。爱因斯坦是物理学家而不是数学家。而且，他本人也自认为如此。他在自传笔记里[1]对此中原因说得十分透彻：

> 这显然是因为我在数学方面的直觉不够强，不能把最重要的、真正基本的、同其余多少可以废弃的腐学清楚地区分开来。除此之外，我对大自然的兴趣无疑要浓厚得多。而且，作为一个学生，我并不清楚，要掌握物理学基本原理方面的更渊博的知识，离不开非常错综复杂的数学方法。经过多年的独立科学研究，我才逐渐明白了这个道理。当然，物理学本身也分成了许多独立的领域，其中每一个领域都可以消耗我们短促的一生的全部精力，还不一定能满足我们获得更深奥知识的欲望。在这里，大量彼此间无联系的实验数据也是人们难招架的。可是在这个领域中，我很快就学会从一大堆充斥我们的头脑，分散我们对本质事物注意力的东西中，分辨出哪些可能导致根本性的结果，而置其他于不顾。

但是爱因斯坦从自己的经验及本世纪初物理学的几次大革命中认识到，虽然实验定律一直是（而且继续是）物理学的根基，然而，数学的简和美对于基础物理概念的形成起着越来越大的作用。他把"接近于经验的"理论和更数学化的理论进行了比较[7]：

> 另一方面，必须承认，如果一个理论的基本概念和假设接近于经验，它就具有一种重要的优越性，人们对这样的一种理论自

> 然就有更大的信心。尤其因为用经验去反驳这些理论既省时又省力,所以被完全引入歧途的危险性就比较小。然而,随着认识的深入,我们要寻求物理理论基础的逻辑简单性和一致性,因而我们要放弃上述的这种优越性。

为了防备物理学界的误解,他申辩道[③]:

> 一个理论科学家就越来越被迫让纯粹数学的,形式的思考来引导他……这种理论家不应该被斥之为空想家,相反,他应该有自由想象的权利,因为,要达到目的,别无他法。

基础理论物理和数学之间的关系,是一个引人入胜的题目。说到这里,请允许我给大家讲一个故事。

规范场与纤维丛理论有关系,这给我留下了深刻印象。我在1975年驱车前往陈省身先生在伯克利(Berkeley)附近艾尔·塞雷托(El Cerrito)的寓所。40年代初期,当他是中国昆明西南联大的年轻教授而我是该校的学生时,我曾听过他的课。那时,纤维丛在微分几何里还未显示出重要性,陈教授也还未以他对高斯—波涅特(Gauss—Bonnet)定理的推广及建立陈氏级(Chern Classes)所作的贡献而创造历史。我们谈了许多:朋友们,亲戚们,中国。当我们的谈话转到纤维丛理论时,我告诉他,我终于从吉姆·西蒙斯(Jim Simons)那里学到了纤维丛理论和意义深远的陈—韦尔(Weil)定理的美妙。我说,规范场恰是纤维丛上的联络(Connection),而后者是数学家在不涉及物理世界的情况下发展起来的,这实在令人惊异。我还加了一句:"这既令人震惊,也令人迷惑不解,因为你们数学家凭空梦想出了这些概念。"他马上提出异议:"不,不。这些概念不是梦想出来的。它们是自然的,也是实在的。"

虽然数学和物理学关系密切,但是,如果以为这两门学科重

叠得很多，则是错误的。事实不是这样。它们各有各的目标和爱憎。它们有明显不同的价值观和不同的传统。在基本概念上，二者令人诧异地具有某些共同的概念。然而，即使在这些方面，二者的生命力也向着不同的方向奔驰。

参考文献：

① A. Einstein, "Autobiographical Notes" in *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, P. A. Schilpp, ed., Open Court, Evanston, Ⅲ. (1949).

② A. Einstein, J. Franklin Inst. 221, 43(1936).

③ A. Einstein, in *Mein Weltbild*, Querido, Amsterdam(1934), translated in *Ideas and Opinions*, Bonanza, New York(1954).

④ 关于规范场的简史，见杨振宁：Ann. N. Y. Acad. Science 294, 86 (1977).

⑤ V. I. Fock, Z. Phys. 39, 226(1927).

⑥ F. London, Z. Phys. 42, 375(1927).

⑦ A. Einstein, Sci. Am., April 1950, page 13.

⑧ A. Einstein, *On the Method of Theoretical Physics*, Clarendon, Oxford (1933); reprinted in ref. 3.

附：《爱因斯坦对理论物理的影响》一文之后记

此后记写于1982年，原载杨振宁《选集与后记》，Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983. 中译文载《三十五年心路》，广西科技出版社，1989年。译者甘幼玶。

1979年是阿尔伯特·爱因斯坦百年诞辰，世界各地都开会纪念。我参加了其中的四个，分别在普林斯顿、伯尔尼、耶路撒冷和特里亚斯特举行。这篇论文摘自我在特里亚斯特所作的报告。

爱因斯坦终生不渝地在构筑“一个完整的理论物理体系”。他寻求能够使自然界的结构实现大统一的那些概念和基本原理。这种统一的中心问题是各种力，或者说，相互作用。这些力把物质联结在一起，产生各种各样的反应，从而构成了自然现象。

我相信，今天我们同爱因斯坦梦寐以求的大统一还相距甚远。不过，我们确实已经掌握了其中的一个关键，那就是“对称性支配相互作用”。是爱因斯坦本人首先提出了这个观念。从历史的观点看来，这种发展是特别饶有兴味的，因为古代哲学家曾经试图把对称性同宇宙的结构联系起来。在古希腊，泰梅和柏拉图把四种“基本的”自然实体即火、气、水、土分别同规则的四边形、八面体、二十面体和立方体联系起来。古代中国的易经把三线形及六线形的符号同自然现象联系起来。当然，今天我们所指的对称性同古代哲学家所指的不是同一码事，但在概念上它们有着普遍的关系，这是不争的事实。

前面还有严重的困难。这些困难中有许多关系到如何处理场论中的发散，以及在众多理论中究竟选择哪一个的问题。我们知道，为了消除发散困难，对称性是有用的。但是，我们尚未明了对称概念的全部威力。看来需要新的基本观念，这些观念使得引进新的数学概念成为必要。今天我们还不知道这些新数学概念究竟是什么。它们可能是四元数，也可能是分次李代数，或者是复流形。很可能，它们是一些还没有命名甚或未知的概念。麦克

斯韦在1873年写道：

法拉第为阐明电磁感应现象而使用他的力线概念的方式，表明他实际上是一位高超的数学家——一位后人能从其身上汲取灵感而推出有价值且富于生命力的新方法的数学家。一种精密的科学，其进步有赖于恰当而准确的观念的发现和发展。通过这些观念，我们可以对实验事实作出理性的表述。这种表述一方面足够普遍，它们经得起任何特例的考验；另一方面，它们又足够准确，能够保证我们通过数学推理而得出的推论正确无误。

从欧几里得的直线到法拉第的力线，这是科学赖以取得进步的观念的特征。而通过自由运用动力学以及几何学的观念，我们可以指望科学会更向前发展。数学计算的目的，是把应用这些观念所得到的结果同实验所关心的量之测量结果二者进行比较。有关电现象的科学现正处于这样一个阶段，其中，测量和计算都极为重要。

或许，我们甚至还忽略了这门学科的名称。它将以我们正在收集的材料为基础而发展壮大起来。

爱因斯坦和现代物理学

——在香港大学的演讲(1980 年 1 月 3 日)

原载 Einstein and Contemporary Physics, by C. N. Yang, 香港物理学会,1980 年。中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989 年。译者吴寿煌。

对黄副校长的致词,我表示深切的谢意。能够对这么多的听众讲话,对我来说是一个极大的愉快。我没有想到在香港有这样多的人对现代物理学感到兴趣。1979 年是整个历史上最伟大的物理学家之一,爱因斯坦(Einstein)诞生的 100 周年。在 20 世纪初期,人类对物质世界的认识发生了三次革命。爱因斯坦个人独立地完成了其中的两次,对第三次革命的形成与发展也作出了贡献与帮助。我刚才提到的这几次伟大的革命首先是狭义相对论,这是爱因斯坦在 1905 年他 26 岁的时候,在一篇引人入胜,富于洞察力的文章中贡献于世的。接着在 10 年后,他又提出了一个宏伟美丽的理论,叫做广义相对论,这个理论用最深刻、最美丽的方法彻底弄清了引力的基本结构。爱因斯坦本人没有亲眼目睹,从实验观点来说,这个伟大理论的各种结论的重大发展,因为黑洞存在的实验证明不过是近 10 年的事。本世纪初期物理学的第三次大革命是量子力学,它在本世纪最初 25 年中逐步发展起来,而在海森堡(Heisenberg)、薛定谔(Schrödinger)和狄拉克(Dirac)

于1925年发表的论文中达到顶点。但是,任何读过例如薛定谔的论文的人,应该立即理解到爱因斯坦对整个发展产生了多么大影响。但那还不是全部,在1925年之后,爱因斯坦继续对量子力学的解释,提出了极为深刻的批评性的见解。

我个人相信:爱因斯坦对量子力学的解释所持有的某些保留意见是我们和下一代物理学家们还要多次听到的。但是,物理学的这些革命,不仅对于物理学家,恐怕对于公众来说,也都是熟知的,所以详细讨论这些革命,不是我今天下午的任务。我的目的是讨论爱因斯坦对现代物理学的影响。现代物理学是建筑在我刚才提到的三次大革命基础上的进一步发展。

我的讲话将分成四个部分,当然它们是相互联系的。它们代表爱因斯坦的思想和抱负的四个方面,现在还不断影响着当前物理学的发展。这四个领域分别是:“对称性支配相互作用”的原理。其次是统一场理论的必要性。第三是物理学的几何化。最后是对爱因斯坦发表于1933年的论文《理论物理学的方法》中某些思想的一些评论。

“对称性支配相互作用”

相互作用不过是物理学家对各种力所习用的行话。我们知道在物理世界中有四种基本的力。所有我们看到的别种力都是从这四种基本力派生出来的。这四种基本力是:强力,或强相互作用,它把核子束缚在一起;电力和磁力,也称为电磁力;弱力,它对放射现象起作用;最后是,万有引力。

在这四类力中,我们在日常生活中能够觉察到电磁力和引力的作用。例如,所有的化学力都是电子与核之间电磁相互作用的结果。

在物理学发展史中,通过某种正确的方法而认识的第一种相

互作用是万有引力，这是牛顿（Newton）的伟大发现。可以肯定每个人都听到了那个苹果落下来的故事（实际上这个故事是不真实的），但那是人类对自然界的一种基本力即引力的最初认识。

人类认识的第二种相互作用，或者第二种力，是电力和磁力。对它们的研究开始于18世纪后半期，大约经过100年，经过许多科学家，特别是法拉第（Faraday）和麦克斯韦（Maxwell）的极其重要的工作，建立了著名的麦克斯韦方程组。如果说麦克斯韦方程组代表了19世纪物理学研究的顶点，这当然不是夸大其词。在1885年到1905年之间，麦克斯韦方程组导致一系列非常重要的进展，其中之一就是发现麦克斯韦建立的方程组满足确定的对称性。这种对称性的意义是：如果我们进行某种变量变换，方程组仍然具有变换以前的原有形式。麦克斯韦方程组的这种对称性称为洛伦兹（Lorentz）对称性，它对于建立狭义相对论，即爱因斯坦后来发动的第一场革命，具有极大的重要性。要是我们研究这段历史，我们就会发现，事件的程序是这样的：首先是实验，它导致库仑（Coulomb）定律、高斯定律、安培（Ampère）定律和法拉第定律，这些定律都是通过实验发现的。接着，运用法拉第的思想，麦克斯韦把这些定律纳入数学形式。所以，第二个阶段是把这些实验确定的定律写成数学方程的形式。最后，又发现了这些方程遵从洛伦兹对称性，正如我们刚才讨论的那样。

爱因斯坦本人在他生命结束以前指出，闵可夫斯基（Minkowski）迈出了非常重要的一步，把上述步骤倒转过来。闵可夫斯基论证了我们可能从某种对称性出发，然后再问什么样的方程组能够符合这种对称性，尽力去建立具有那些性质的方程组，并且从方程组中推演出实验得到的结果。所以，考虑问题的方式仍然一样，只是次序倒了过来。正是爱因斯坦，他确实把这个程序颠倒了，而且从1908年开始，他论证了麦克斯韦方程组内

在的对称性受到了过分的限制。这种对称性应该加以扩大，而且确实被爱因斯坦大为扩大了，这样他就提出了是否存在与扩大了的对称性相符合的方程组的问题。

当然，他不是空谈这些。他把应用扩大的对称性写出方程的思想，与技术上称为等效原理的物理思想结合了起来。我并不认为我能在这里详细讨论那个问题。但是这两个思想，较大的对称性与等效原理，导致爱因斯坦建立了他的广义相对论的各个方程，正如前面所说，这是本世纪初的第二次大革命。

爱因斯坦的方程建立之后，就有可能去讨论由这些方程得到的结论。爱因斯坦在 1916 年由他的方程出发预言了三个重要的、可由实验验证的结论。我想，你们中间的大多数人一定都知道这些结论已经为实验所证实，特别是 1919 年的日全食，发现实验结果符合于爱因斯坦的理论。上面提到，近年来随着黑洞的发现和非常精确的各种新技术的出现，爱因斯坦理论已经在比 1919 年时所能达到的高得多的精度上为实验所证实。

对于我们的讨论，我要指出，随着闵可夫斯基—爱因斯坦的发展工作，物理学已开始建立在一种新的思想形式之上。就是说，物理学家们不再是从实验出发而达到对称性，而是转变为把利用对称性作为出发点的思想，然后尝试着去建立满足这种对称性的方程式。我把这种思想称为“对称性支配相互作用”原理，它已经成为近年来富有成果的方法。

现在我们来给出实际运用上述原理的例子。广义坐标变换下的不变性（它只是在广义坐标变换下说明对称性的一种数学方法）是爱因斯坦所采用的最大的对称性。他据此导出了广义相对论的各个方程。这就是“对称性支配相互作用”这一原理的第一个应用。

紧接着出现了第二个例子。我们将在以后再稍为详细地讨

论它。现在我只是把它提出来。已经发现,很好的经典的电磁相互作用,事实上满足的对称性要超过刚才提到的洛伦兹对称性。它满足对称性的另一种类型,称为规范对称性。一旦懂得这一点,就可弄明白,实际上存在一种对称性的更重要的类型。它决定麦克斯韦方程组的特殊形式。以后,我还要就这个问题稍为多说几句。懂得了这一点,你就能够提出电磁作用能否统一的问题。毕竟,电磁作用是世界的主要支柱。实际上,我们在周围看到的任何事物都是建筑在电与磁的相互作用的基础上的。如果自然界是有选择地去创造这些对整个世界是如此极端重要的相互作用,那么当然可以提出一个极好的问题:她是否也要检验其他的可能性。当你提出了这样的问题,你将能发现,在电磁相互作用之外,确实还存在其他各种可能性,它们总称为非阿贝尔规范场。从1920年至今,这些方面的工作一直在发展。事实上在近年内,关于与非阿贝尔规范场相联系的思想的证实,已经取得了激动人心的巨大发展。稍后一点,我们还要较为详细地讨论到它。

在70年代,已经讨论了两种新增加的对称性。一种称为超对称性,另一种称为超引力。这两种发展都是上面讨论过的基本思想或基本原理:“对称性支配相互作用”的继续。通过把对称性扩大到被称为费米子和玻色子的这两类粒子之间的对称性,一些学者于1972年和1973年提出了超对称的思想。更晚一点,在1976年,又提出了另一种概括,称为超引力。现在这些发展领域还太新,我们还不能知道它们与物理现实是否有什么关联。但是发展的链条确实是以爱因斯坦创立广义相对论时形成的“对称性支配相互作用”这个基本原理为动力的。

场的理论及其统一

1936年爱因斯坦写道:法拉第和麦克斯韦的电场理论可能代表着牛顿时代以后物理学基础的最深刻的变化。爱因斯坦本人在一生中一直强调场的概念是基础物理学的基本概念。但这还不是全部,他不仅强调基础物理学必须建立在场论的基础上,其中麦克斯韦方程组是场论的第一个实例,他还强调不同类型的场论必须统一起来,从而建立一个"统一场论"。的确,这就是他在1916年后在物理学研究中的主要目标。在他一生余下的40年中,他致力于研究统一场论,特别是把电磁力和引力统一起来。

爱因斯坦在1934年曾经说过关于统一场论的这样的话。"存在着两种相互独立的空间结构,就是引力度规和电磁度规。这两种场都必须符合于空间的统一结构"。然而,爱因斯坦在这方面的努力并未得到成功。他在1950年刊行了他那美丽而深刻的名为《相对论的意义》的小册子的新版。在这本书的附录中,他发表了一个把引力和电磁力统一起来的新的尝试。其中,他采取不对称的度规张量 $g_{\mu\nu}$,并试图把新的分量即 $g_{\mu\nu}$的反对称分量等同于电磁场强度。但是这个理论并不特别成功。我要强调的是:尽管爱因斯坦的尝试没有得到成功,尽管爱因斯坦统一场的尝试受到许多说出来的或没有说出来的批评,也尽管有些人说爱因斯坦的工作完全是枉费心机,但爱因斯坦仍坚持他的基本观念,即物理学的伟大目标,是场的理论的统一。在70年代,这一目标已经部分地实现了。今天,我们有了这样一种理论,它把电磁相互作用与弱力(不是与爱因斯坦所希望的引力)统一了起来。1979年的诺贝尔奖金正是颁发给了这一个工作。

虽然爱因斯坦本人对统一场的尝试未能成功,但他坚持统一场的工作确实也产生了某些直接结果。在1916年,爱因斯坦建

立了广义相对论，并强调指出，广义相对论必将进一步推广而把电磁相互作用包括在内。他的这些思想不仅激励了当时的物理学家，而且由于爱因斯坦理论的几何结构，也激励了当时的大数学家们的想象力或创造力。我们看到列维-西维塔、嘉当和韦耳这些卓越的数学家，都在爱因斯坦所坚持的统一场方面工作。特别是，韦耳在他的名著《空间、时间和物质》中提出一个思想，这个思想能比较容易地向公众解释，所以我要试一试。韦耳说，爱因斯坦的伟大成就是把引力解释为空间—时间结构。如果你要把电磁力加到引力上，你就需要某种附加的几何思想，而韦耳就发现了标度不变的思想。他说也许通过加上标度不变的概念，这也是一个几何思想，你就能把电磁力加到引力上。

韦耳的思想实际上很简单。考虑两个相邻点 x^μ 和 $x^\mu+\mathrm{d}x^\mu$。以 f 代表某个物理量，它在 x^μ 点为 f，在 $x^\mu+\mathrm{d}x^\mu$ 点为 $f+\left(\frac{\partial f}{\partial x^\mu}\right)\mathrm{d}x^\mu$。韦耳用图 1 第三行中给出的标度因子来考虑与空间—时间有关的 f 的再标度。

坐　标	x^μ	$x^\mu+\mathrm{d}x^\mu$
f	f	$f+(\partial f/\partial x^\mu)\mathrm{d}x^\mu$
标　度	1	$1+S_\mu \mathrm{d}x^\mu$
标度变更	f	$f+(\partial_\mu+S_\mu)f\mathrm{d}x^\mu$

图　1

特别注意这标度因子是

$$1+S_\mu \mathrm{d}x^\mu \qquad (1)$$

现在韦耳看到了两点。首先 S_μ 具有与电磁势 A_μ 同样的分量值。其次，随着进一步的发展，他证明了，在要求理论在标度改

变时具有不变性的条件下，只出现 S_μ 的旋度而不是 S_μ 本身。这也是 A_μ 的特性。这样他就把 S_μ 与 A_μ 等同起来。然而这一思想没有起作用。经过包括爱因斯坦在内一些人的讨论之后，爱因斯坦证明，韦耳理论不可能用来描述电磁学，于是韦耳就放弃了它。

接着 1925 年到来，而量子力学也与这个发展完全独立地被创立了起来。

我们都知道，在经典力学中，当有电磁场存在时，出现的不是粒子动量 P，而通常是如下的组合：

$$\pi_\mu = p_\mu - \frac{e}{c}A_\mu$$

在量子力学中它由下式来代换

$$-i\hbar\left(\partial_\mu - \frac{ie}{\hbar c}A_\mu\right) \tag{2}$$

这是福克(Fock)在 1927 年指出的。紧接着，伦敦(London)把(2)式和图 1 中的增量算符($\partial_\mu + S_\mu$)相比较，并且推断 S_μ 不是和 A_μ 等同，而是和 $-\frac{ieA_\mu}{\hbar c}$ 等同。因此新的唯一重要点只是加进了虚数 i。这具有意义深远的结果，使(1)式变为

$$1 - \frac{ie}{\hbar c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu = \exp\left(-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu \mathrm{d}x^\mu\right) \tag{3}$$

这里是**相位**变更而不是**标度**变更。由此，定域**相位不变性**就是电磁场的正确的量子力学特征。

韦耳本人最初曾把他的思想称为“Masstab Invarianz”，后来又改称 Eich-Invarianz。20 年代初被译成英文时称为规范不变性。要是我们今天重新起名的话，显然就应该称为**相位不变性**，而规范场则应该称为相位场。

一旦人们懂得了规范不变性事实上是相位不变性，人们就能发现关键在于一个**不可积相位因子**。作一个从简单的复数相位到一个较为复杂的相位，即李群的一个元素，这样的替换，就把人们引导到1954年时第一次讨论的非阿贝尔规范理论。

1967年，温伯格(Weinberg)和萨拉姆(Salam)独立地提出电磁相互作用和弱相互作用统一理论的模型。这个模型基于两个关键性的概念：**非阿贝尔规范场**和**对称破缺**。

上述思想的一个重要补充是由格拉肖(Glashow)给出的。最近六年，温伯格—萨拉姆—格拉肖模型取得了令人惊异的实验支持。这种成功又引起了建立更大的包括强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用的统一性的广泛努力。依我看来，恐怕我们要达到成功的更大的统一性，大概还要走一段路程，要达到把这些相互作用与广义相对论统一的更完善的统一性，需要走的路程就更长。很少疑问，爱因斯坦坚持统一性的重要是具有深刻洞察力的，他勇敢地捍卫他的信念，反对那些说出来的和没有说出来的批评。

物理学的几何化

爱因斯坦曾经多次坚持他关于新理论应该怎样形成的三个基本点。第一点就是基本物理理论应该遵循几何结构。爱因斯坦偏爱几何观念也许是不奇怪的，因为很明显，他的引力理论的几何阐述的成功对他影响很深。我们在前面说过，在1916年爱因斯坦的论文中，引力理论成了空间—时间结构的一个部分。于是他要把它扩大，为统一场建立进一步的几何结构。事实上，我想，研究爱因斯坦不喜欢量子力学发展中的某些方面的理由，可能是一篇极好的论文。量子力学本身是沿着两条不同的路线发展的，一条是海森堡的路线，另一条是薛定谔的路线。阅读1925

年及后来的论文就很清楚，爱因斯坦在量子力学的研究路线上，受到薛定谔的影响要比受到海森堡的影响大很多。我敢大胆地说，造成这种情况的原因是：薛定谔的思想更为几何化，而海森堡的思想则更为代数化。

爱因斯坦反复强调的第二点是：麦克斯韦方程组含有洛伦兹群（或洛伦兹对称性）。这是早在1905年前就已发现的第一个对称性，而洛伦兹群却并不含有麦克斯韦方程组。只是说：你必须具有那种对称性，你不能直接写出麦克斯韦方程组，因为麦克斯韦方程组不是唯一具有那种对称性的方程组。事实上你可以写出具有洛伦兹对称性但却较为简单的一些方程来。

第三点是爱因斯坦的如下认识或他坚持这样的观点：自然界的真实定律不可能是线性的，也不可能从这种线性定律推导出来。这一点很简单，但爱因斯坦时代的大多数人或许没有足够地意识到这一点。

规范场理论取得成功的一个原因，就是因为它正确解答了所有三个问题：规范场概念是一种几何概念；最简单的规范场就是麦克斯韦方程组；还有第三点，虽然麦克斯韦方程组是线性的，而比它复杂一点的规范方程，即非阿贝尔理论，却是非线性的。

我应该告诉你们，规范场概念在什么意义上是几何化的。事实上，在1975年以前，我一直不清楚规范场概念是一种几何概念的正确判断。结果是，规范场被广泛地表述为深邃的数学思想，在现代数学中称为纤维丛。实际上，在各种基本思想中存在着惊人的一致性。为了向你们解释规范场概念是几何化的，我在这里写下这组方程：

$$\frac{\partial f_{\mu\nu}}{\partial x^{\lambda}}+\frac{\partial f_{\nu\lambda}}{\partial x^{\mu}}+\frac{\partial f_{\lambda\mu}}{\partial x^{\nu}}=0$$

这个式子把电磁学的两条基本定律联结了起来，就是讨论两

个磁极间的力的高斯定律,以及电磁感应的法拉第定律。这两条基本定律在 1780 年到 1840 年间发现,被综合成这个单一的方程。1865 年,当麦克斯韦写下这组方程后,这组方程就为物理学家所用,最初形式不完全一致,但实质是相同的。结果是这些方程正好表现了一条几何定理。这个几何定理就是:“边界的边界是不存在的。”我不能向大家解释为什么这个定理可用这个方程来阐述,但我可以解释一下定理的意义。

让我们看一看图 2 中画上阴影的小圆盘。这是一个二维的面积。它有一个边界,这当然是一维的,就是它的边缘。二维物体的边界总是一维的。一个一维物体的边界就将是零维的。那么这个边缘有没有它的边界呢?没有的。如果它的形状象一个“C”,它将有一个包含“C”的两个端点的边界。由于上述边缘是一个闭合的环,它就不具有这样的边界了。这样就解释了边界的边界是不存在的这一事实。

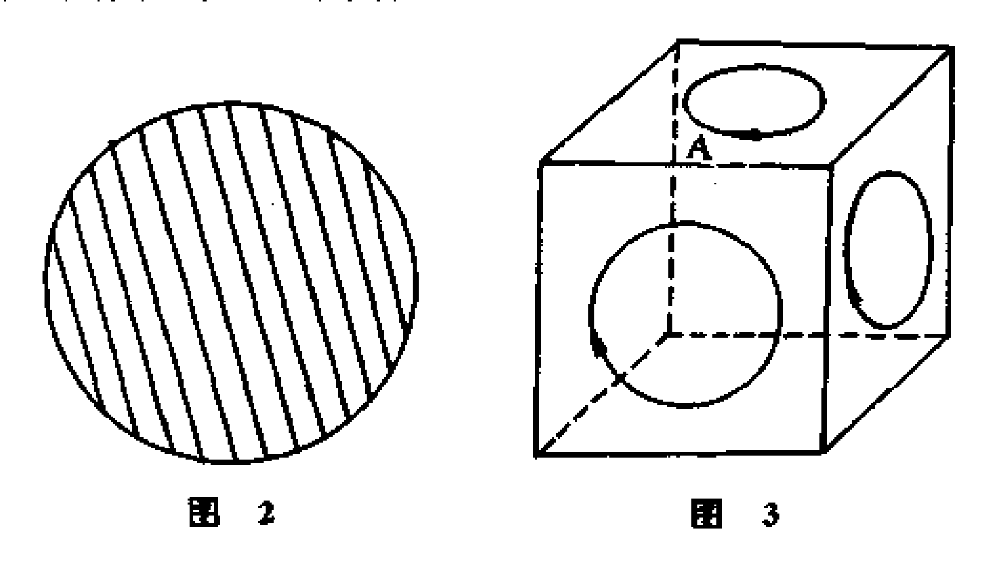


图 2　　　　图 3

这个例子听起来可能是太简单了,现在让我举一个复杂一点的例子,见图 3。让我们考虑一个立方体内部(我们已经递增了一维)。立方体内部是三维的,因而它的边界是二维的,而边界的边界则将是一维的。首先,这个立方体的边界是什么?它就是立

方体的六个表面。它们每一个都是二维的。其中三个面画在图上,另外三个面看不见。现在要问,这六个面的边界是什么呢?每一个面都有用箭头表示的指问或者方向。每个面的边界包括有一定方向的四条线,这个方向用面上的箭头标志。由于每个面都有一个由四条有向线段组成的边界,加在一起就有二十四条有向线段。让我们看一看这二十四条有向线段,特别是看一下线段 A。这条线段从右向左,是顶面的四条边界线段之一。同一线段也可以看作是正面的四条边界线段之一,这时它是从左向右的。因此,这条线段在二十四条边界线段中要由相反方向经历两次,所以加在一起时就会被消去。同样,对于所有十二道边缘都要从相反方向经历两次。因而我们得到立方体边界的边界是不存在的这样一个数学结论。

这还不是我们不得不相信它的唯一理由,实际上,规范理论是几何化得很深的。还有其他在物理方面的进展迫使我们接受规范场是几何化概念的思想,因为规范场具有称为全域性的性质。"全域性"意味着只有把整个几何对象考虑在内才是明显的各种性质。

通过一系列不联系数学或几何的物理方面的进展,在 1931 年人们讨论了狄拉克关于单极子的美妙的思想。1960 年,有一个重要的物理实验由博姆(Bohm)和阿哈罗诺夫提出,后来由钱伯斯完成了。1974 年,特霍夫特和泡利雅可夫各自独立地得到了规范场的某些解,被称为特霍夫特—泡利雅可夫单极子。接着在 1975 年,泡利雅可夫及其合作者找到了非阿贝尔规范场的附加解,被称为瞬子。所有这些进展都围绕着一种性质。它们联系着微分方程的全域性考虑。一旦人们懂得了规范场联系着纤维丛的几何,物理讨论中所有的这些全域性质就都落到了实处,人们明白它们事实上是几何的性质。

爱因斯坦关于理论物理学总结构的思想

1933年,爱因斯坦发表了题为《论理论物理学的方法》的论文。文中有一些非常精彩的分析和论述。这里让我们摘引几句。他说:“创造性的原理存在于数学中。”他那时是在谈论物理学的结构,但他却讲到了创造性的原理存在于数学中。“因此,在某种意义下,我认为,正如古人所同意的那样,纯粹的思维能够把握实在,这是正确的。”在另外一段中,他说:“理论物理学的实验基础不能从经验抽出而必须通过自由创造。”他那时当然首先讲到,他创造广义相对论并非来自实验,而来自人们要得到更大对称性的要求。也是在1933年,他在另一篇论文中写道:“经验可以提供近似的数学概念,但这些概念当然不能从经验中推导出来。”读过这些话之后,我们有权向爱因斯坦提出几个问题。纯粹的思维到底怎样把握实在?物理学公理基础是怎样自由地创造出来的?我们可以问:爱因斯坦是不是在说基础理论物理学具有数学的风格和传统。实质上我们可以问,爱因斯坦是不是把他自己看作一个数学家?读过爱因斯坦的言论,我认为我们可以毫无疑问地得到这样的结论:爱因斯坦相信他自己是一个物理学家,相信他是在研究物理学而不是在研究数学。他在1946年所写的《自述》中,有值得注意的一段,说明他对自己的数学和物理能力的看法。他讲到为什么他成为一个物理学家而不是一个数学家,他说:

> 这个原因显然是由于下面的事实,那就是在数学领域内我的直观能力不够强,因而我不能把那些真正带有根本性的最重要的内容同其余那些多少是可有可无的广泛知识清楚地区别开来。然而除此之外,我对自然知识的兴趣也无条件地比较强;同时我还不清楚,作为一个学生,通向物理学基本原理的更深刻知识的道路,是与最精密的数学方法相联系着的。只是在独立进

行科学工作几年之后，我才逐步懂得了这一点。确实，物理学也分成各个不同的领域，每个领域都能耗尽短促一生中的全部工作时间，而还不能满足求得更深刻知识的渴望。还没有被充分联系起来的实验数据也是大量的。然而在这个领域里，我很快就学会了识别出那些导致本质的内容，而抛掉其余的大量充斥人们的头脑而又偏离主要目标的那些东西。

我认为这是爱因斯坦关于他的力量和兴趣所在的自我分析所展示的最有兴趣的内容。很清楚，他是一个物理学家，而且他把自己看作一个物理学家。他写下那些非常值得注意的段落的理由，是因为他相信在统一场方面的下一步发展必须极大地借助于数学，而他当然是对的。在 30 年代、40 年代、50 年代，他遭到同事的物理学家的批评，他们说他从事的是毫无价值的研究，与物理真实性无关。他抗辩说：

理论科学家正被迫在愈来愈大的程度上依靠纯粹数学形式的考虑，对于承担这一工作的理论家，不应该挑剔他们富于幻想，恰恰相反，必须赋予他们自由驾驭他们的想象力的权利。

数学与物理学的关系问题是个有吸引力的问题，也是个经过大量评论的问题。我并不认为对于这个关系究竟是什么的问题，会有任何具体明确的解答。但是这样说是可以的，很清楚，20 世纪基础物理学的发展必定要在很大程度上借助于基础数学。下面都是这方面的例子：狭义相对论依靠四维空时的几何结构；广义相对论依靠黎曼几何的数学工具，这是 19 世纪数学最重大的发展之一；量子力学本身依靠本世纪初由数学家发展起来的关于希尔伯特空间的深刻思想，而规范理论则依靠纤维丛及其所有拓扑复杂性的思想。然而，我们决不能因为数学在物理学中的重要性，而导致一切数学都对物理有用的结论。这里有一个例子说明

错误出在哪里。有一个由开普勒(Kepler)提出的著名而美丽的设计，他企图找到不同行星的半径之间存在实验观察到的那种比例的原因。他试图把这个比例解释为五个不同的相互内接的正多面体尺度之比。但这并不是一个富有成果的尝试。

实际上这是很自然的，物理学家应该对过多的数学发生怀疑。这是普通知识，实验物理学家深深地怀疑过多的数学，他们这样想是有原因的，这是因为大多数理论性文章都毫无意义。前面我们讲过法拉第的伟大思想和麦克斯韦建立的麦克斯韦方程组。麦克斯韦比法拉第年轻 40 岁，是法拉第的敬慕者，而法拉第则是一个大物理学家，一个不具有很多数学知识的伟大实验物理学家。当青年麦克斯韦开始进行把法拉第的思想转变成方程组的工作时，他写信告诉了法拉第。法拉第对此是深为怀疑的。后来，当麦克斯韦部分地建立了他的方程组之后，又写信给法拉第，法拉第在 1857 年写的回信中说：

> 亲爱的先生：收到了你的论文，谨表深切的谢意；我并不是为你所说的关于力线的那些话(麦克斯韦对这一思想大加赞扬)而贸然地感谢你，因为我知道你是在对哲学真理的兴趣下做这工作的。但你一定会想象到，这是一件使我感到愉快的工作，并且给我很大的鼓励来思考它。当我最初看到你用这样的数学威力来说明实验材料时，我几乎为之震惊。后来看到实验材料同它如此适合，又不禁视为奇迹。

如我所说，数学和物理学的关系不是一个已经弄得很清楚的问题。你们也许能允许我讲一点有关这方面的个人的故事。在 1975 年，当我知道了麦克斯韦方程组和规范场与纤维丛这个深邃的数学概念有密切联系时，我到伯克利访问了陈省身教授(战时，在中国昆明，我听过陈教授的课，当时我是一个大学生而他是

一位年轻的教授)。我们谈过许多我作为物理学家从陈教授那里通过他的概括而得来的思想,我觉得这对我是极大的愉快,但也给我带来极大的困惑,我们作为物理学家从基本实验结果的概括得出的这些思想竟是你们数学家无中生有地幻想出来的。他立即提出抗议。他说情况不是这样,这些思想不是幻想出来的,它们是自然的,又是真实的。

数学与物理学之间的关系如此之深,然而,如果认为两方面有那么大的重叠,那就弄错了。它们并不这样。它们各有不同的目的和兴趣。它们有明显不同的价值判断,它们还有不同的传统。在基本概念的水平上,它们令人惊异地共同使用某些概念,但即使在这里,每一方面的生命力是沿着各自的脉络奔流的(见图4)。

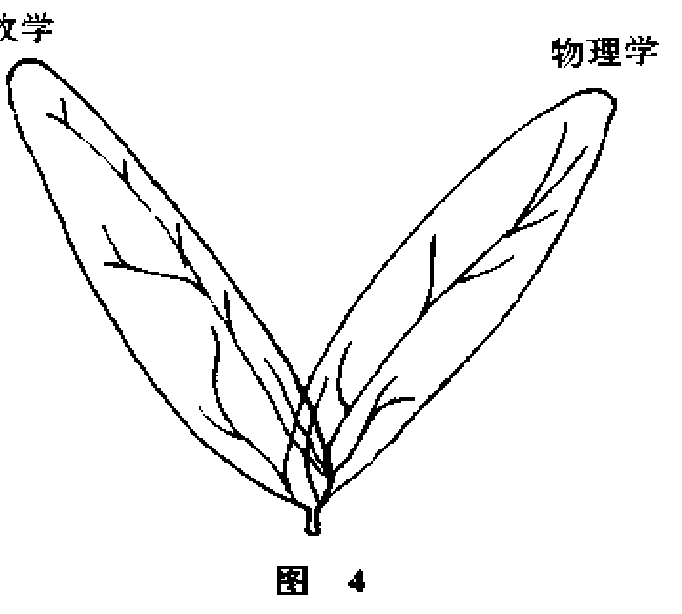


图 4

问题一

杨教授,我想提一个非常简单的问题。爱因斯坦曾经说过“上帝并不玩骰子”。他相信在普遍运动中某些参量还被隐藏着。现在你能否发现这样的参量,从而使得一般的运动成为决定性的。换句话说,他对量子力学的几率性质很不满意。我现在的问题是:你认为我们是生活在一个几率性的宇宙中,还是在一个决定性的宇宙中?

回 答

哦,这是个非常重要的问题。我不知道怎样来直接回答你的问题,因为这涉及到你怎样理解几率性和决定性的问题。

然而,我愿意讨论一个相关的问题。大家知道,爱因斯坦不相信现有对量子力学的理解是最后的结论。我也不相信这一点。无疑量子力学取得了极大的成功,无疑至今还没有发现对量子力学的其他解释,无疑我们中间的大多数懂得足够多的量子力学,所以我们能够正确回答大多数微妙的问题,这种问题很容易哄骗一个初学者。无疑在爱因斯坦和玻尔之间那场著名的争论中,爱因斯坦没有取得胜利,因为爱因斯坦提到玻尔面前的所有问题都被成功地驳倒了。尽管这样,在量子力学中仍有某些严重不安稳之处,而我也赞同爱因斯坦的意见,即对这个问题我们还没有听到最终的结论。换句话说,我相信这个结论将具有更为精致和更为复杂的性质,对于我们正在试着回答的问题,结论将是相同的,只是用不同的话来表达,可是对于整个认识将是更为适用、更加深刻的理论。然而,我不一定要相信它将以决定性为标志。我所要说的就是量子力学在某些方面取得极其巨大的成功,但在另一些方面还是不安稳的,我们将等待着提出最终的结论。

问题二

杨教授,奥本海默(Oppenheimer)在 1938 年提出了黑洞理论,我个人相信黑洞确实是存在的。现在按照爱因斯坦广义相对论,在引力坍缩中,空时曲率半径变到无限小的极限情况,甚至物质也不存在。这里有两种出路,一种是把黑洞中心的奇点看作反宇宙的隧道,另一种是把广义相对论量子化,也可能还存在别种出路。你相信哪一种呢?

回　答

要对这个问题提供有用的意见，我不是一个够格的专家。显然，引力的量子化是一个最为重要的课题，因为爱因斯坦的伟大成就与量子力学的伟大成就，在我们能够把二者结合起来之前，还不能被认为是完美的。而且那当然也是许多人的愿望。但正像你们所知道的，存在着巨大的困难，而这些困难是与各种问题牵扯着，我们可以说，也包括你提到的由奇点原理带来的坍缩中的困难。我还要加上一点，无疑在爱因斯坦逝世的1955年，物理学家和天文学家们还不了解黑洞的重要性。我们可以说，在最近10到15年，爱因斯坦广义相对论又得到了很大的发展，走上了科学的前沿。我和大家讨论过的爱因斯坦其他一些思想也是这样，这展示了关于理论物理结构的伟大的远见卓识。我的信念是，爱因斯坦这些远见的重要意义今后将继续存在下去。也许今后20年，这些远见在活跃的物理研究工作者的思想中将会获得甚至是更重大的意义。

在广州粒子物理理论讨论会开幕式上的讲话(1980)

原载《读书教学四十年》，香港三联书店，1985年。

方才周培源教授说这是一次空前的盛会，这是很恰当的描述。150篇将要报告的论文范围很广，今后五天的会议上一定会有很多有学术价值的讨论。不过我认为这次盛会的意义将远超过普通的学术会议。从海外来的物理学家都怀着深厚的情感来参加。这是不可能也不必要隐藏起来的事实。跟哈佛大学的格拉肖谈过或听过他演讲的人都会体会到他怎样对他的犹太血统和犹太传统感到骄傲。

1300年前，在唐朝的初期，在南昌曾经有过一次盛会，遗留下来了一篇名作，就是王勃的《滕王阁序》。王勃用美丽的诗句描述了当时的人力物力，有"物华天宝""人杰地灵"两句，很确恰地道出了初唐时代中国的潜力。以后100年的历史告诉我们，中华民族发挥了这巨大的潜力，创建了盛唐的文化，为当时世界之冠。

王勃这两句诗句我认为也很确恰地道出了今天中国的巨大的潜力。让我们希望这次会议能为发展这潜力，为中国的四个现代化，作出一点小小的贡献。

巨型加速器对物理学发展的促进作用

本文是1980年5月22日，作者在美国布鲁克海文国家实验室庆祝AGS(交变梯度回旋加速器)20周年宴会后的讲话。原载 AGS 20th Anniversary Celebration, May 22, 1980, Ed. by Neil V. Baggett, Pub. by Brookhaven National Laboratory, 51377, 1980. 中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989年。译者韩秀兰。

我与乔治·韦尼雅德(George Vineyard)先生一样，不准备长篇大论。宴会后作长篇讲话会使人瞌睡。有个关于李鸿章先生的故事。李鸿章是孙中山革命以前中国清代的最后一批内阁总理大臣之一。19世纪末，李鸿章作环球旅行来到美国。他想为中国买一大批海军设备。于是所有的商人和地方政客都来讨好他，以求同他拉点生意。有一天他在费城应邀参加一个盛大欢迎会。在这个会上，市长作了一次很长的发言。李鸿章当时年事已高，他很快就睡着了。市长发现后就停止了发言。寂静使李鸿章醒来了。市长对李鸿章说："阁下是不是不喜欢长篇发言?"李鸿章听到翻译后说："正相反，我喜欢长篇发言，我可以乘机打长盹。"

AGS无疑是由物理学家和加速器建造者制出的最大型的加速器之一。实际上，可以毫不夸张地说，最近20年，我们研究领

域的历史很大程度上是AGS的历史，正如今天下午的座谈会所生动表明的。目前实验物理学家比理论物理学家必然更紧密地与加速器的工作相关联。一个理论物理学家不太与加速器那么休戚相关，当加速器发生故障时，也不会给他造成那么多麻烦。因此，加速器运转良好时也不会给他带来那么大的欢欣。但是，尽管如此，一个理论物理学家同样生活在该领域总的发展趋势所提供的环境中，而这个环境当然要受到这些大机器所带来结果的重大影响。

听了今天下午的座谈，我想起了我自己学术生涯中的各种时期。那时，我以各种方式参与了我今天所听到的这些发展或者受其影响。请允许我将这些回忆告诉大家。1952年秋我在普林斯顿，看到了一篇关于强聚焦原理的很有趣的论文。当时我正在做统计力学计算。由于那篇强聚焦论文非常容易懂，我从中学到了一些东西并对此深感兴趣。我用了几个星期的时间考虑各种共振问题，以及如何解决这些问题。我有了一些想法，并考虑深入探索。那时，高等学术研究所刚刚完成了建造世界第一部大型计算机，即JOHNIAC的前身。我去计算机室，并向我的朋友赫尔曼·戈德斯坦(Herman Goldstine)请教如何使用这台计算机。那是在FORTRAN出现以前，使用计算机还是一件很复杂的事情，必须使用机器语言。我花了一些时间学习。而后我估算了一下，我需写多少机器指令才能取得进展。估算后我认为我不可能一点儿错误没有地写那么多指令。因此，那时便结束了我加速器的设计工作。我不是说我后悔从而没能参与后来在加速器设计方面的工作，但我后来的确为当时没有想到可能有一种像FORTRAN这样的程序语言而自责。

一次是在1959年，当时关于弱相互作用已经做了许多工作。李政道和我试图看看是否还能找空儿对弱相互作用再进行进一

步的探索。我们进行了长时间深入的讨论,但没有得到正确的想法。正确的想法归功于麦尔(Mel),他指出,用中微子激发实验是可行的,尽管不容易。众所周知,麦尔的想法导致了对AGS的重要实验。今天下午麦尔讲了此事。如果我们考虑到许多中微子实验(后来全世界都做了这些实验)和由它们产生的物理学,我们会更高地评价麦尔那一基本想法的重要性。

1964年夏,我正在访问布鲁克海文(Brookhaven)。当时听到谣传说要发表一篇论文,宣布时间反演不变性和CP守恒被破坏了。没有什么人会相信这样的事。原因很简单:每个人都认为越对称越好。当发现宇称守恒无效时,每个人都抓住CP守恒,就像一个人能抓住一件东西一样。于是,当听到CP不再守恒时引起了很大震动。我今天下午没有问瓦尔(Val),他们是不是真的为了使那个实验上的突起消失曾进行过长时间的努力,因为他们可能也相信CP守恒不会被破坏。但我想答案是肯定的。如果我没记错的话,那年夏天得知CP实验后,我打了一些电话,包括给瓦尔和吉姆·克劳宁(Jim Cronin)。瓦尔和吉姆都是不善言谈的。但我通过电话告诉了他们一些消息,我知道,他们不善言谈的缺陷可以用他们的诚实可靠来补偿。我开始与吴大峻一起解决CP问题。实际上,工作了几个星期之后发现,好像每个搞理论的人都在搞这个问题。一般来说,当在我们这个领域中有了突破的时候,搞理论的人比搞实验的人处于更高的激发态。有一个原因,搞理论的人可以深入思考到第七重天,而搞实验的人则与地面有更多的联系。当一个意想不到的发现产生时,搞理论的人全体出马投入工作。尽管他们的多数努力后来证明是无益的,但它们的确给人带来了很大的兴奋。60年代末,我给我的一位研究生布置了一项工作,查一查发表在《物理评论快报》上的理论高能物理论文的速率,并把速率因时间的变化画一曲线。他向我报

告,1964 年夏,发表在《物理评论快报》上的理论物理论文的速率跃增了 50%。

尼克·萨莫斯(Nick Samios)和丁肇中在 AGS 上所做工作的报告使人们回顾了更加令人振奋的时期。例如,1974 年我们在石溪获悉 J 粒子的发现,然后又有 ψ 粒子的发现,我们所有的人都被抬到高激发态。我清楚地回忆起我们的小组的连续不断的系列讨论,不仅给教师们也给研究生们留下了难以磨灭的印象。在几门课程中,教师们不再继续因循正规的课程而转向讨论这一最新的成果。

我在前面曾讲过,最近 20 年 AGS 的历史很大程度上就是我们这一领域的历史。在庆祝这台大加速器 20 周年的时候,自然会提出关于高能物理在今后 20 年发展趋势的问题。我个人相信,今后无疑会有更大的谜被揭示,会有更多的伟大发现产生。物理学正在不断创造新的奇观。就这一点我愿意讲两个故事给你们听,你们可以按照自己的理解来听这两个故事。

第一个故事是爱丁顿(Eddington)说的。从前有一位捕鱼人,他是一个对大自然很热心的观察者。在他日复一日捕鱼的同时,也在日复一日地观察。20 年以后,他总结了一个自然规律,即所有的鱼都长于 4 吋。

他的网是 4 吋的网。

下面一个故事来自伽利略(Galilei)。这是一个精彩的故事。它开始于下面的一段话,翻译过来是:"从前在一个非常荒寂的地方住着一个人,他天生具有非凡的好奇心并且具有洞穿的思维能力。为了消遣,他曾养了一些鸟,很爱听鸟的歌声。"然后伽利略继续叙述了这个人如何通过观察逐渐懂得,不同的鸟是怎样唱歌的。以后他知道蚊、蟋蟀等如何发声,他成了这方面的一个大专家。现在我接着读:"在此人相信再也不可能有更多的形成声音

的方法以后，即他相信，他已经掌握了全部的发声法，他突然发现自己比以往更深地陷入了无知和困惑。就他手里已经抓住的一只蝉来说。无论是堵住它的嘴，还是不让它动翅膀，都不能减小它的叫声，而且看不到它移动裹在其身上的鳞或其他什么东西。最后，他抬高蝉胸部的防护甲，在那里看到了防护甲下面有一些细的硬韧带。他想，声音可能是由于这些韧带的振动而产生的，于是他决定将这些韧带弄断，使蝉发不出声音。但是，没有出现任何结果。直到他的针扎得过深，刺穿了这个生物。蝉死了，声音也便没有了。他还是不知道蝉的声音是不是发自于那些韧带的。由于这一经验，使他的知识减少到与以前不同了。因此，当别人问他声音是如何产生的时候，他往往留有余地地回答说，尽管他知道一些声音产生的方法，但他相信还有更多的产生声音的方法存在，这些方法不仅是未知的，而且是难以想象的。”

磁单极与纤维丛

——在罗马林赛研究院讨论会上的演讲(1980 年 6 月)

本文原载 Ref. TH. 2886—CERN. 中译文载《新疆大学学报》,1980 年第 1 期。译者赵殿林、安吉庆。李子平校。

虽然,数学家熟悉纤维丛的概念已达 40 年,但时至今日,未被多数物理学家所赏识。这并不奇怪,因为我们有一种抵制用新的数学形式的天生倾向,除非它还能够"做"用别的方法不能做到的某些事情。

我认为,这种倾向基本上是健康的,因为,我们宁肯去揭示物理观念的本质,而有意隐蔽其只具有修饰性的数学公式,除非某一数学形式确实对某物理概念的理解是必不可少的。规范场理论的纤维丛形式表达,便是这种情况。在这个演讲中,我将试图从狄拉克(Dirac)磁单极的某些物理方面的讨论来阐明这一点,并指出,我们采用纤维丛理论,确实能"做"别的方法不能做到的事情。

波 "截 面"

狄拉克于 1931 年在一篇卓越的论文①中,讨论了量子力学中的磁单极子。随后,发表了不少文章。但是,一个基本的困难是必须引入奇异弦,这是很讨厌的②。奇异性的存在,阻碍了进一步计算含磁单极的动力学体系的性质。1976 年借助于纤维丛的理论指

出[③],此奇异弦事实上是不存在的。其关键是,磁单极附近的荷电粒子的波函数,不是普通的函数,而是起源于纤维丛理论的概念:"截面"。这方面进展的基本情况,可见综述文献[④]。以下我们将用这些文献中的记号,文献中关于绕磁单极运动的荷电粒子在希尔伯特(Hilbert)空间中的波截面,已进行了讨论。单极子谐函数的明显计算结果,是普通球谐函数的推广。

波截面的旋转对称性

文献[③]已指出,对于绕强度为 g 的单极子运动的、带电量为 e 的荷电粒子,如果

$$2q = 2eg/hc = \text{奇整数}, \tag{1}$$

则单极子谐函数总角动量等于$\left(\text{整数}+\frac{1}{2}\right)$。这一结果,初看十分奇怪,因为这一运动是纯粹的轨道运动。

为解开此谜,我们注意到,绕单极子场的 Z 轴转动,不是简单的变换

$$\varphi \longrightarrow \varphi^{a} = \varphi + \Delta, \tag{2}$$

实际上,无限小转动,不是简单的

$$-i\frac{\partial}{\partial\varphi}, \tag{3}$$

这一事实,起源于角动量的表达式:

$$\vec{L} = \vec{r}\times\left(\vec{p}-\frac{e}{c}\vec{A}\right) - eg\frac{\vec{r}}{r}, \tag{4}$$

特别是它的 Z 分量,如文献③中式(20)所指出,是

$$L_z = -i\frac{\partial}{\partial\varphi} - eg \qquad \text{在 } a \text{ 区},$$

$$L_z = -i\frac{\partial}{\partial\varphi} + eg \qquad 在\ b\ 区, \tag{5}$$

(5)式中的 $-i(\partial/\partial\varphi)$ 项是由(4)式中的 $(\vec{r}\times\vec{p})$ 的项得来。显然它不是角动量的 Z 分量：如文献③所论述 $\vec{r}\times\vec{p}$ 不是希尔伯特空间中波截面的算符，且已证明，(4)式是角动量的正确表达式。

既然(3)式不是 L_z，(2)式就不可能是绕 Z 轴转过 Δ 角的算符。这一转动的正确算符是⑤

$$\begin{aligned} e^{i\Delta L_z} &= e^{-ieg\Delta}e^{i\frac{\partial}{\partial\varphi}} \quad (a\ 区), \\ &= e^{ieg\Delta}e^{i\frac{\partial}{\partial\varphi}} \quad (b\ 区)。 \end{aligned} \tag{6}$$

因为它是算符 L 的函数，所以这是希尔伯特空间中的算符。

显见，如果(1)式被满足，那么波截面的希尔伯特空间的对称运算，形成 SU_2 群而不是 SO_3 群。

当然，以上的讨论，仅仅是解释了文献③的结论。这已非常清楚地指出，希尔伯特空间的波截面的概念是必要的。无此观念，将变得模糊不清和难以捉摸，并时常导出令人困惑的结论。

狄拉克电子与单极子的相互作用

奇异弦的消除和单极子谐函数的引入，允许把在无限重单极子 g 的场中的电子 e 的狄拉克方程分解⑥，于是，现在波函数径向部分出现困难，这在以前已经分析过了⑦，这可用电子的微小的附加磁矩来防止这一困难，并得到了 e—g 体系的散射幅和束缚态⑧。消除这一困难的其它方法，可在文献⑨中找到。

e—g 散射截面的计算结果，对于小角度散射，给出一个单极子穿越物质时的电离损失；对于大角度散射给出绕单极子路径的 δ 射线分布。

e—g 体系，有无限多的束缚态。如文献⑧所述，这可能暗示磁

单极周围有 e^+e^- 对的等离子区(见文献[5] § IX),这是目前正在进一步探索中的有趣而困难的问题。

e—g 和电磁场相互作用的经典拉氏函数

该问题,首由狄拉克[10]于 1948 年讨论,由于奇异弦,狄拉克的论文很难懂。用以上所讨论的消除奇异弦的方法,则异常清楚,并能给出其很简洁的拉氏函数[11]。它有一格外有趣的特点,是其作用积分仅在模 $4\pi eg/c$ 下可确定,狄拉克早知道这点。

e-g-γ 相互作用的二次量子化理论

这一问题,也是首由狄拉克[10]所研究。用文献[11]的经典拉氏函数,夏道行[12]利用路径积分已提出了一个二次量子化的方案。这一问题的不同处理方法,可见文献[13]。他们是基于,在库仑(Coulomb)规范中,借助于场论中的 e—γ 相互作用项的二次量子化的常用形式,进行推广。我们知道,库仑规范的特点是,理论中仅出现横光子变量,而纵场被消除。这样对于 e-g-γ 的情况,来自库仑规范的一个恰当推广已经找到,不用任何奇异弦,e-g-γ 相互作用的二次量子化理论已经形成。

参考文献:

① P. A. M. Dirac—*Progr. Roy. Soc*. A 133, 60(1931).

② G. Wentzel.—*progr. Th or. phys. Suppl*. 37—38, 163(1966).

③ Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang—*Nuclear phys*. B 107, 365(1976).

④ Chen Ning Yang—*Proc. 19th International Conférence on High Energy Physics*, Tokyo, 497(1978).

⑤ Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang—*Phys. Rev*. D 16, 1018(1977).

⑥ Y. Kazama, Chen Ning Yang and A. S. Goldhaber·*Phys Rev*. D15, 2287 (1977).

⑦ H. J. Lipkin, W. I. Weisberger and M. Peshkin-*Ann. Phys*. 53, 203 (1969).

⑧ Y. Kazama and Chen Ning Yang·*Phys. Rev*. D15, 2300(1977).

Y. Kazama·*Phys. Rev*. D16, 3078(1977).

⑨ A. S. Goldhabr. *Phys. Rev*. D16, 1815(1977); Dai Xian Xi and Ni Guan-Jiong·*Physica Energiae Fortis et Physica Nuclearis* 2, 255(1978)(in Chinese).

⑩ P. A. M. Dirac·*Phys. Rev*. 74, 817(1948); J. Schwinger·"Particles, Sources and Fields", Addison. Wesley, Reading, MA(1970 and 1973).

⑪ Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. *Phys. Rev*. D14, 437(1976).

⑫ Xia Dao. Xing. *Futan J*. 4, 13(1977)(in Chinese).

⑬ Tu Tung. Sheng, Wu Tai Tsun and Yang Chen Ning. *Scientia Sinicia* 21, 317(1878).

强子碰撞的几何模型

——在广州理论粒子物理会议上的报告(1980)

本文的合作者和报告人是邹祖德。原载杨振宁《选集与后记》,Selected Papers 1945—1980 With Commentary, Freeman and Co. 1983.中译文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。译者高成群。

摘　　要

报告概述了由高能强子—强子及强子—原子核碰撞的几何模型所得到的结果,讨论着重于弹性散射、衍射离解过程和极化强子或极化核内物质流的分布的概念。

我想回顾一下自从1967年以来得到的关于高能碰撞的几何模型的一些主要结果,对这一模型的研究导出了一些特殊的预言,这些预言是:

(1) 对于弹性 pp 散射

a、在 $|t|<1.2(\mathrm{GeV}/c)^2$ 区间角分布 $d\sigma/dt$ 的数值;

b、$d\sigma/dt$ 中存在着第一个最小值和第二个最大值;

c、这两个极值位置随入射能量的增大而缓慢地向内移动。

(2) 强子内物质分布和 π、K 介子的均方根半径的数值。

(3) 衍射离解过程的谷(dip)和扭折(kink)结构。

(4) 粒子产生过程中极限碎裂的假定。

(5) 弹性 pp 微分截面中存在第二个最小值。

(6) 在极化强子和极化原子核内物质流的分布。

虽然预言(1)到(4)都已得到证明,而预言(5)和(6)的证实尚有待于进一步的实验结果。应该强调指出:其中大部分预言在与实验比较时没有使用可调参数。

在这篇报告中,概述了弹性散射、衍射离解过程和速度分布这三个方面所做的工作,在此我们仅提出主要的物理思想和重要的实验证据,并省去在文献中可找到的详细讨论。

一　弹性散射

高能下强子—强子弹性散射的几何描述[①]基于如下基本假定:一切强子都是具有结构的广延客体,这一表述提供了有关强子物质密度函数和弹性微分截面之间的一个直接关系。由这个图像引起的主要物理概念有下列三点:

1. 程函近似(Eikonal approximation)。
2. 在冲量参数空间对透射系数取幂。
3. 碰撞系统不透明度的卷积形式。

把上述三个概念结合起来,就得到了关于强子 A 和强子 B 的弹性散射振幅:

$$a_{AB} = \{1 - \exp[-(\text{常数})D_A \otimes D_B]\}\text{的二维傅里叶变换} \quad (1)$$

式中 D_A 和 D_B 是强子 A 和强子 B 的压缩物质密度,$\otimes$符号代表冲量参数空间的卷积,方括号中的量表示负1乘以不透明度。

由此模型很容易推导出一些结果:

1. 利用实验上测得的微分截面,可以计算出强子的物质分

布。只要附加一个关于强子物质分布与电荷分布彼此成比例的假定，则强子电荷形状因子也可推导出来，这样计算出来的质子的形状因子与实验上得到的质子的形状因子 G_E 惊人的一致〔参看邹(Chou)和杨 1973 年论文中的图 3[2]〕。把几何模型应用于 πp 和 Kp 散射也可用来确定 π 介子和 K 介子的半径[3]，理论预言与实验直接测量值似乎符合得很好[4]。

2. 把质子的形状因子和测得的总截面作为输入，模型对 pp 微分截面做了预言[5]，在 $|t|\approx1.4(\mathrm{GeV/c})^2$ 邻域截面呈现出一个谷，在稍大一点的 $|t|$ 值处出现一个最大值，计算出的最大值和最小值的位置与实验结果的符合是好的[6]。在 np 弹性散射中也可望存在着类似的结构，这是因为人们假定中子与质子大致有同样的物质形状因子是合理的，这一推测的确为最近的一个实验所证实[7]。

3. 在式(1)中出现的不透明度表达式内的常数与总截面 σ_T 有关，因为发现 σ_T 随能量增加而上升，所以这个常数变得依赖于入射能量。由于不透明度增加了，模型给出了最大值和最小值的位置随能量增加而向内移动，第二个最大值同时升高的预言。这些特征一般来说也是与最新实验一致的[10]。

我们现在做几点简短评论：

1. 我们不言而喻地假定了只有与自旋无关的振幅对高能 pp 散射给出主要贡献，而且该振幅是一虚量。观测到的截面对能量的依赖关系必然要求散射振幅中存在着一个实部，在我们的考虑中这个较小的实部被忽略掉了。做出这些近似的根据是：实验指出在高能情况下除谷区附近外，pp 散射中的极化参数 p 近似为零[11]。

2. 陈(Cheng)和吴(Wu)对场论中特定的耦合完成了高阶费曼图的高能极限的深入研究。值得注意的是，通过他们的研究，在弹

性模型中使用的这三个基本物理概念的普适性至少是部分地得到了肯定。

3. 因为不透明度随总截面增大而增大，所以几何模型预言[13]在很高的能量区域中的 pp 弹性散射中存在着许多谷，尽管至今只观测到头一个谷，多谷现象并没有找到，但是多谷的发现将是不可避免的，因为在足够高的能量下不透明度的增大会产生一个有效的黑盘作为散射中心。

4. 在描述高能弹性散射时，几何图像设想了一个强子不断衰减地穿过另一个强子，衰减因子依赖于冲量参数 b 而与能量关系不大。既然弹性道和非弹性道强烈地耦合在一起，我们曾论证过在高能非弹过程中，靶或入射粒子被激发到某一特定模式的几率振幅也一定只是 b 的函数，而且大都是与入射能量无关的。此假定[14]称之为极限碎裂假定，其实验验证已在 CERN 的 ISR 上完成[15]。

二 衍射离解

近年来，已有关于强子—核角分布和强子—强子衍射离解的实验数据[16]。所有这些实验都有一个明显的特点，它们都存在着类似于在 pp 弹性散射中所观察到的谷和扭折结构。与弹性散射中的谷相比，衍射离解的谷通常出现在较小的 $|t|$ 值处。我们曾指出过，几何模型能够提供关于这些谷结构的一个自然的解释[17]。

考虑有一个入射强子穿过一个广延靶，其冲量参数为 b，则离解可能发生在沿强子走过的径迹的任何一点上，离解过程发生的几率与穿过的物质厚度 $\Omega(b)$ 近似成正比。在离解前，存在着入射波的吸收，在离解后，还存在着出射波的吸收。假定入射波和出射波的平均自由程相等，则总吸收因子可以写成为 $\exp[-\Omega(b)]$。这样，在衍射离解过程中，出射强子的源函数可近似地表示为

$\Omega\exp(-\Omega)$的形式。这一近似形式首先用在电荷交换散射中，并且定名为“相干微滴模型”[18]。

衍射离解过程的微分截面的数值计算业已完成[17]，其中 Ω 是由电子散射实验和强子—强子总截面共同确定的，计算中不含可调参数。对弹性散射和衍射离解两种过程，计算出来的谷的位置与实验值符合得很好。

三　强子物质流分布[19]

既然强子的大小、强子的物质分布即不透明度的分布等几何概念在讨论高能碰撞中是很有用处的，人们可能会产生这样一个有兴趣的问题：极化强子内部是否存在着物质流。我们一旦接受了具有物质密度的广延强子的概念，那么，我们就不可避免地必须承认在极化强子内部存在着物质流。物质密度和物质流的概念必然是互补的，结果产生一个四矢量。物质流的存在会产生可观测效应，只要人们利用总截面随入射能量增加而上升这一性质，上述概念的实验检验现在就已成为可能。

考虑一个 kp 散射实验，其靶质子沿 x 方向极化，如果在靶内部某一区域内，强子物质的运动是朝向入射粒子方向，则这一区域会比强子物质沿远离入射粒子方向运动的区域有较大的不透明度。因此，对平行 $+y$ 轴运动的一个 K 介子来说，质子内 $+z$ 轴一边将比 $-z$ 轴一边显得更不透明。产生不透明度差异的原因在于转动参数 $R(t)$ 不为零，也就是说，对于 K 介子在 xy 平面内沿 x 方向上散射的碰撞，反冲质子的极化矢量有一个等于 $R(t)$ 的 y 分量。这个沃尔芬斯坦(Wolfenstein)参数 R 是可以测量的，对不同的动量转移 t，R 的数值将决定靶内强子流密度。

数值计算表明，对于小 t，R 是负的，这个符号有一个自然的经典解释[20]。当 $t=-0.5(\mathrm{GeV}/c)^2$ 时，对于 200GeV 的 πp、Kp 散

射，R 的估计值在 -0.05 到 -0.2 弧度之间，从而表明物质流效应采用适当的实验技术是可以测量的。

对 R 参数给出的这个估计值是在极化靶为无限重的假定下得到的，如果靶有一个非零的反冲速度，显然上述结果须予以修正，但是反冲效应是不可能给以严格处理的。

上述讨论显然可以应用于强子对极化原子核的弹性散射，此时核子流的存在在概念上接受起来会容易得多。

参考文献：

① T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Rev.* 170, 1591(1968).

② A. W. Chao and C. N. Yang, *Phys. Rev.* D8, 2063(1973).

③ T. T. Chou, *Phys. Rev.* D19, 3327(1979).

④ E. B. Dally et al, *Phys. Rev. Lett.* 39, 1176(1977); A. Beretvas et al., Contributed paper No. 857 submitted to the XIX th International Conference on High Energy Physics, Tokyo, 1978(unpublished).

⑤ T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* 20, 1213(1968); L. Durand and R. Lipes, *Phys. Rev. Lett.* 20, 637(1968).

⑥ A. Böhm et al., *Phys. Lett.* 49B, 491(1974).

⑦ C. E. DeHaven, Jr et al., *Phys. Rev. Lett.* 41, 669(1978).

⑧ U. Amaldi et al., *phys. Lett.* 44B, 112(1973);

S. R. Amendolia et al., *Phys. Lett.* 44B, 119(1973);

A. S. Carroll et al., *Phys. Rev. Lett.* 33, 932(1974).

The increase of total cross section was conjectured theoretically by H. Cheng and T. T. Wu, *Phys. Rev. Lett.* 24, 1456(1970).

⑨ F. Hayot and U. P. Sukhatme, *Phys. Rev.* D10, 2183(1974).

⑩ N. Kwak et al., *Phys. Lett.* 58B, 233(1975);

E. Nagy et al., *Nucl. Phys.* B150, 221(1979).

⑪ J. H. Snyder et al., *Phys. Rev. Lett.* 41, 781(1978).

⑫ H. Cheng and T. T. Wu, *Phys. Rev.* 182, 1852(1969) and later papers.

⑬ T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Rev.* D17, 1889(1978); *Phys. Rev.* D19 3268(1979).

⑭ J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang, and E. Yen, *Phys. Rev.* 188, 2159 (1969).

⑮ G. Bellettini et al., *Phys. Lett.* 45B, 69(1973).

⑯ G. Goggi et al., *Phys. Lett.* 79B, 165(1978);

T. Ferbel, lecture presented at the First workshop On Ultra-Relativistic Nuclear Collisions, LBL(1979).

⑰ T. T. Chou and C. N. Yang, Dip and kink structures in hadron-nucleus and hadron-hadron diffraction dissociation (preprint).

⑱ N. Byers and C. N. Yang, *Phys. Rev.* 142, 976(1966).

This approximation was latter utilized in T. T. Chou,

Phys. Rev. 176, 2041(1968); and H. Cheng, J. K. walker and T. T. Wu, *Phys. Rev.* D9, 749(1974).

⑲ T. T. Chou and C. N. Yang, *Nucl. Phys.* B107, 1(1976).

⑳ T. T. Chou, in *High Energy collisions*—1973, edited by C. Quigg (AIP Cont. Proc. No. 15, New York, 1973) pp. 118—123; C. N. Yang in *Proc. Int. Symposium on High Energy Physics*, edited by Y. Hara et al. (University of Tokyo, Japan; 1973) pp. 629 - 634.

对称与20世纪物理学

——在香港中文大学的演讲(1982.1.21.)

本文原载杨振宁:《对称与20世纪的物理》,香港中文大学联合书院出版,1982年。

对称观念的起源

对称观念有很悠久的历史,远在上古时代,我想人类一定就有了对称观念。到底对称观念是怎样起源的,显然是个非常复杂的问题。不过我们可以设想,我们的祖先通过了对许多自然现象的接触,渐渐形成了对称的观念。比如说我们的祖先发现雪花有种种非常漂亮的六角形结构(图1);或看见水里许多生物有非常美丽的形态,有的是相当完整的正二十面体,有的是相当完整的正十二面体(图2);或看见了自然界的一些结晶体(图3是一些常见的晶体,右边第二块是食盐的结晶);或看见了水上的圆形波浪;或看见了很多很多的肥皂泡摆在一起(图4),造成了很整齐的、好像结晶一样的结构;或者更重要的是看见了人体本身的许多对称现象(图5)。面对这些奇妙美丽的现象,我们的祖先于是归纳出来对称的观念吧?这至少是很可信的推测。

对称这个观念的发展对上古的音乐、文学、绘画、雕刻、建筑,都有极其密切的关系。比如说4500多年前(即公元前2500多年左右),索玛利亚(Sumeria)的艺术家就已经画出了一个主体对称

而不完全对称的艺术品(图 6)。中国在商朝则有非常对称非常美妙的“觚”(图 7);这一类铜器,商朝做得很多,商末或周初的簋(图 8),商朝或周朝的盂(图 9)是另外两个例子。盂的上面,有一个对称的图样。这个图样表示商朝的艺术家对于羊的犄角的注意。为什么那时候的艺术家要用这样的方法很显著地把对称显示出来?这一问题艺术史学者似乎还没有完全弄清楚。

到了有史时代,对称现象在各种艺术的发展中更加显著。比如目前存放在纽约大都会博物馆的一个北魏的铜像(图 10),这样美妙对称的线条是北魏时代中国艺术的特点。又比如巴赫(Bach)所写的一个短曲(图 11),是两个小提琴合奏的。最奇妙的地方,是第一个小提琴奏的音乐跟第二个小提琴奏的音乐,在时间的次序上正好相反。再比如说现在正在中文大学文物馆举行的中国古陶瓷展览中一个非常名贵的明朝清花瓷(图 12)。具有优美的对称性。又比如罗马帝国时代拼凑出来的一个图案(图 13),有非常复杂的对称性,又比如说意大利托里诺(Torino)一个展览馆(图 14)是近代建筑,屋顶有非常奇妙的对称性。

科学中的对称

对称既然在人类历史上占有非常重要、非常基本的地位,哲学家和科学家很自然会想广泛地加以运用。1595 年的时候,天文学家开普勒(Kepler),就曾经想用一些几何的对称来解释太阳系各行星轨道的直径的比例。他希望在一个球里面放一个内接的正方体,在这个正方体里面放一个内接的正三角体……(图 15),希望用这些正多面体的大小比例来解释太阳系各行星轨道的大小比例。我们知道这许多早期用到科学上的对称原理,并没有很大的成果,可是它们说明了科学家很早就对对称发生兴趣了。

对称在科学界开始产生重要的影响始于 19 世纪。发展到近

代，我们已经知道这个观念是晶体学、分子学、原子学、原子核物理学、化学、粒子物理学等现代科学的中心观念。近年来，对称更变成了决定物质间相互作用的中心思想。（所谓相互作用，是物理学的一个术语，意思就是力量，质点跟质点之间之力量。）

我今天要跟大家讨论的是对称观念对20世纪物理的作用。我准备分下列几节来讨论：1. 向量的历史；2. 晶体的对称；3. "群"与对称；4. 守恒定律与对称；5. 宇称守恒与左右对称；6. 规范对称。最后，我想跟大家谈一下未来的发展。

向量的历史

1873年麦克斯韦（Maxwell）发表了一篇题为《物理数量的数学分类》的文章。麦克斯韦以及比他更早的一个数学家兼物理学家哈密顿（Hamilton），了解到物理里面所讲的量不止一种，有的叫做标量，有的叫做向量。标量没有方向，向量除了大小外，还有方向。这篇文章非常有意思，因为今天物理学常用的一些观念，这篇文章已经非常清楚地用一些几何图像表示了出来。比如麦克斯韦称为内向（convergence）的观念，今天我们常把这个量乘以（-1），叫做散度（即向外发散的程度），这是一个重要观念。另一个重要的观念叫做旋度。这些观念的引进都有赖哈密顿跟麦克斯韦的努力。这篇文章里面有好几个定理，其中一个用今天的话来讲就是一个标量的梯度的旋度等于零（$\nabla\times\nabla\Phi=0$）。

在另外一篇文章里，麦克斯韦把电学跟磁学的基本公式写了下来。这是19世纪最重要的物理学工作，麦克斯韦写这篇文章的时候，对于向量的观念虽然已经非常了解，却没有引进向量的符号。他所写的方程式的数目非常多，因为他把每一向量的不同分量都写了出来，一共写了20个方程式。这些方程式，今天我们用向量的方法，可以简化如图16所示。麦克斯韦方程式之重要，

是没有方法在这里完全讲清楚的。今天一切关于电学、磁学和光学的了解，今天我们所看得见的关于电学、磁学的运用，包括发电机，包括无线电、电视、计算机，包括家里所用的一切电器，这一切，都是后来的物理学家根据麦克斯韦公式渐渐发展出来的。麦克斯韦公式利用向量的方法，得到了比较简单的表述可以说是对称原理在物理学里面第一个重要的贡献。

为什么说是对称原理呢？因为对称原理与方向和向量的关系非常密切，而我们所以能够把那 20 个方程式写成 4 个方程式，就是因为这 20 个方程式含有对称性，把这个对称性很根本地写到方程式里面去，就可以写出精而简的方程式。通过方程式的精简化，我们才可以把电磁学发展到更基本、更深入的程度。

晶体的对称

在物理学里面对称的第二个重要的用途与晶体的构造有关。晶体的对称是非常明显的：一块很大的晶体，把它移动一个晶格的话，整个结构并不改变。这在艺术上也是一个很普通的观念。许多晶体大家都可能在艺术品上见过。事实上，今天我们家里浴室的地板都是这一类结构拼起来的。晶体的结构里有一个非常重要的观念，就是不变元的观念。我们把整个结构向右边移动一个格，图案不改变，这个不改变晶体的移动就叫做一个不变元。一个晶格通常有很多不变元。以图 17 的晶体为例，向右边移动一格是一个不变元，向上边移动一格是一个不变元，向上移动两格也是一个不变元。把整个图形顺着一条竖线左右反一下，做一个镜子的反映，很显然也是一个不变元。绕着任一十字交点转 90 度，也是一个不变元。所以一个晶格图有很多个不变元。

对称与不变元有密切的关系。在 19 世纪经过长期研究以后，物理学家渐渐了解到下面这句话：晶体的许多性质，只决定于它的不变

元的结构。了解清楚所有的不变元就可以了解晶体的很多性质。同时,两个化学成份完全不一样的晶体,假若它们的不变元完全一样的话,那么它们很多性质都是一样的,这是一个非常重要的原理。

还有一个非常重要的定理。在刚发现的时候,大家觉得非常稀奇。定理说,所有两度空间的这一类图形的不变元结构,只有17种(图18),图中这十多种晶体的不变元结构是它们的代表。你们回家到浴室仔细研究地板的图样就会发现,它的不变元结构一定是17种中的一种,地板图样跟这17种当然不大可能一样,可是它的不变元的结构,一定与其中一种的相同。这是19世纪末年物理学的一个重大发现。在三维空间有230个不变元的结构;在四维空间(这是一个数学设想,没有实际利用)有4895个不同的不变元结构。

对每一个三度空间的不变元结构,就有一种结晶。从19世纪末这项发现(即结晶一共有230种)发展出空间群的观念。刚才所讲的那17个,就是17个不同的二维空间群。

空间群的观念,是从1830年到1893年的六十几年间,经过许多重要的科学家的努力提炼出来的。在1890年左右,好几位科学家〔其中包括俄国人费多洛夫(Fedorov)、瑞士人申费里斯(Schoenflies)、英国人巴娄(Barlow)〕差不多同时断定有230种不同的三维的晶体。这可以说是对称对于物理学的第二个重大贡献。

跟刚才所讲的有关的是一个很有意思的近代贡献。1955年克里克(Crick)跟华生(Watson)研究病毒结构的时候,理论上推测说有些病毒的蛋白质构造是一个正20面体或者正12面体。他们的这个推理极妙,因为十几年后,克鲁格(Klug)跟他的一些合作者果然发现,某些病毒的构造正是相当完整的20面体。

“群”与对称

“群”是数学里非常非常重要的一个观念,群跟对称这两个观

念有极密切的关系。上面提到的空间群就是群的一个例子。群的观念最早主要是19世纪一个年轻的法国人格罗瓦(Calais,1811—1832)发现的。非常可惜,格罗瓦20岁时去跟别人比剑,结果死掉了。他在死前的晚上,花了一夜的工夫,把他在数学上的一些新发现,赶快写了下来。格罗瓦以后19世纪的数学家渐渐了解到群这个观念的重要。到了20世纪初年,群已经成为数学里一个基本观念。

1880年,挪威人李(Lie)把群的观念扩充了一下,引进了所谓连续群的观念。格罗瓦所讨论的群是有限的,也就是说,群里面的元素数目是有限的,比如说是6个或者120个,或者是720个,而李所讨论的是无限多个元素所组成的群。连续群的观念在刚发展的时候,是没有物理上的用途的。可是今天连续群在数学和物理学里面却起了巨大作用。

群和连续群的观念把代数、解析与几何连在一起,而通过这许多关系(尤其是解析跟几何的关系)更和粒子现象跟物理原理发生了密切的关系。又通过几何这个关键,引进了拓扑的观念,这是近40年的发展。

守恒定律与对称

下面我要和大家讨论的是“守恒定律与对称”。守恒定律在物理学上有相当长的历史,在牛顿的时候,物理学家已了解到许多守恒定律,比如说动量守恒,或者角动量守恒,或者力学中能量守恒。这许多很重要的定理,几百年来在物理里占有非常重要的地位。到了20世纪初年,才有人了解,原来守恒的观念与对称性有密切的关系。从20世纪初年到1930年左右,通过一系列的发展,大家才知道原来对称性与守恒定律可以说是同一回事。比如说动量守恒原来与物理现象在位移之下不改变这个对称性有密切的关系。

角动量守恒与物理现象在转动以后不改变这个对称性有密切的关系。(请注意这里所讲的位移与转动都可以看做前面所讲的不变元,不过不是利用到晶格上,而是用到物理现象上。)

到了20世纪(尤其是1925年量子力学出现了以后),守恒定律与对称性在物理中占了更重要的地位。为什么呢?因为我们讨论原子或者分子的量子结构,必须讨论它们的量子数,而量子数这一观念就是从对称这个观念来的。一个原子或者分子从一个量子数变到另一个量子数,其中的规律要通过选择规则,这又是用了对称的原理。所以1925年以后,在分子学、原子学、原子核物理学、化学、以及粒子物理学等学科里面,对称的观念渐渐变成了基本语言的一部分。(图19)

宇称守恒与左右对称

到了50年代,大家对于对称原理又有了一个前所未有的新认识。这个新认识的起源是这样的:因为刚才所讲的对称原理,在物理学里有这么多重要的用途,加以这些用途常常是美妙的,准确的,于是大家在50年代初期觉得这类的对称都是绝对的。可是到了50年代的中期,出现了一些不能了解的问题。通过对于这些问题的探讨,物理学家发现了原来有些对称并不是绝对的,在某些相互作用之下,会有一些纰漏。这些不完全的对称的影响是很小的,不过假若你知道在什么地方去发掘的话,你就可以发掘出不对称的现象。

关于这方面的第一个实验是关于宇称守恒的。刚才讲过每一个守恒定律都跟一个对称有密切的关系。宇称守恒对应的对称是左右对称。50年代以前,大家认为左右对称是绝对的。举例说,假若在香港有一辆汽车跟美国的一辆汽车是彼此的镜中的影子,不但方向盘一个在右,一个在左,而且一切都相反;美国的

汽车，车刹掣是在油门左边的；这辆香港车，刹掣就在油门的右边。（这样的一辆汽车，开的时候当然要非常小心。）左右对称原理说：把这两辆汽车的油门用同样的力量踩，二者的速度一定相等。这说法并不是想当然，而是有准确的实验证明的。可是50年代的实验证明，这个左右对称原理在汽车上所以是对的，是因为汽车用的是汽油，汽油的相互作用是化学的，是电磁相互作用的结果，而在电磁的相互作用里，左右是对称的。可是在弱相互作用里，左右不一定对称。第一个实验是下面讲的一个。

（图20）所示的左右两个实验装置，都有β衰变（弱相互作用）。这两个装置是不同的，但是对称的。实验就是要看看这两个装置是不是给出同样的结果。假如不给出同样的结果，那么就证明了β衰变不遵守左右对称原理，也就是说，β衰变不遵守宇称守恒定律。请注意图20中的环绕钴元素的两个带电的线圈是必要的。假如没有这两个线圈，那么左右两个装置是相同的，就不可能给出不同样的结果。

（图20）的实验是吴健雄邀了美国国家计量局四位物理学家在1956年下半年做的。这是一个很困难的实验。因为她们要发展一种新的技术，把低温物理与β衰变物理结合在一起。他们的结果——宇称守恒在β衰变中不成立——引起了物理学界的大震荡。他们的文章公布以后，世界各地各实验室做了很多β衰变与其他弱相互作用的宇称守恒与否的测验，结果证明宇称不守恒是弱相互作用的一个基本特征。

规 范 对 称

对称原理通过了50年代的发现，在物理学里已经占了一个比以前更重要的地位。而近年来的发现，使这个重要性进入了更深的一层，这个发展起源于规范对称。规范对称是在量子力学中

发展出来的一个想法。在这个地方无法用很短的时间和很简单的话给大家详细介绍。所以我只可以大体的讲一下。规范的观念可以借三种不同的方向殊途同归。(图21)

这三个不同的方向,第一个叫做局部的相。这句话要分开给大家解释一下,一是相的观念,一是局部的相的观念。相这个观念,在物理里面是一个很有用而又很重要的观念。比如说,看一个钟,它的针所在的位置可以有360度,针的位置就是一个相。我想凡是学电学的人,讲到交流电的时候就知道相是个非常重要的观念,假如你家里的电,有四个插头的话,那么它就有三个不同的相。相的观念在交流电里是极为重要的。近年来,在物理和工程里尤其重要。今天与相有关系的科技包括超导、全息照相、激光、约瑟夫逊(Josephson)效应(大家知道约瑟夫逊效应可能很快就会变成计算机的元件里头一个很重要的环节)。这许多新科技的发展,讲来讲去只是一句话,就是人类对于一些物理现象的相有了更深刻的了解和更大的控制力量。

所谓局部的相,就是说在空间和时间的每一点都可以有不同的相。这个观念引进以后,就很自然的产生了规范场的想法。

规范场另外一个发展来源是局部守恒。守恒定律我们刚才已经讨论过了。局部守恒,就是把守恒局部化。今天物理里面一个总的发展方向,就是要把时空的问题局部化。我们既然知道守恒定律非常重要,就不难想到要讨论局部守恒。要讨论局部守恒,最后就被引导到规范场(图21)的想法。

推广麦克斯韦方程式是达到规范场的另一条道路。麦克斯韦方程式,我刚才已经给大家介绍了一下;这些方程式,是今天所有电磁学知识的渊源。麦克斯韦方程式既然这样重要,那么我们自然会问:可不可以把它推广。如果这样问的话,藉一些数学的演算,也会到达规范场。

不管我们用哪个方法，最后得出的总是同一的规范场理论。为什么呢？其实道理也很简单。原来局部的相、局部的守恒跟推广麦克斯韦方程式，三个观念彼此的关系极为密切，所以最后得出来的结论相同。

我们知道世界各个不同的基本粒子之间有四种不同的相互作用，叫做强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用。相互作用就是力量。因此，各种不同的基本粒子之间，就有四类不同的力量。这十几年来，大家认识到这所有的不同的相互力量，都是不同的规范场。这方面的发展，现在还在继续，因为通过了这些观念，对于以后10年粒子物理的实验有很多个预言，这些预言将是大家今后注意的题目。

未来的发展

最后我来跟大家简单的谈谈较长远的未来的发展。今天我们知道，对称性是决定相互作用的主要因素。我曾把这个发展归纳成一句话："对称决定力量"。我们当然要问，除对称之外，是不是还有其他的重要因素？对于这个问题，物理学工作者的回答并不一致。有很多人似乎认为，既然过去10年通过对称性，大家对基本的相互作用有了一些了解，那么朝这个方向发展下去，就可以把所有的东西都了解。我个人觉得这个想法恐怕不对；换句话说，我对于上述这个问题的回答是：是的，我相信决定相互作用还有其他的中心观念。

为什么这样讲呢？因为在今天的基本物理里，有很多很复杂的困难。要解决这许多困难，必须引进一些跟数学有密切关系的新观念。70年代，我们发现规范观念与数学界在最近40年所发展的纤维丛观念有非常密切的关系。物理学的新观念与数学里很复杂很奥妙很美的观念吻合，这已经不是第一次了。我觉得目

前物理学者对于基本粒子有一些不能了解的地方恐怕就是因为还有一些很美的很重要的数学观念还没有被引进来。不过应该引进哪些数学观念呢，目前当然还不能预料；我想这也是对年轻工作者的一大鼓励。因为假如世界上所有的问题都已经解决了，年轻的工作者就没有什么事情可做了。

最后让我引一段1957年我讲过的话做结束："从十分复杂的实验中所引导出来的一些对称性，有高度的单纯与美丽。这些发展给了物理工作者鼓励与启示。他们渐渐了解到了自然现象有着美妙的规律，而且是他们可以希望了解的规律。"

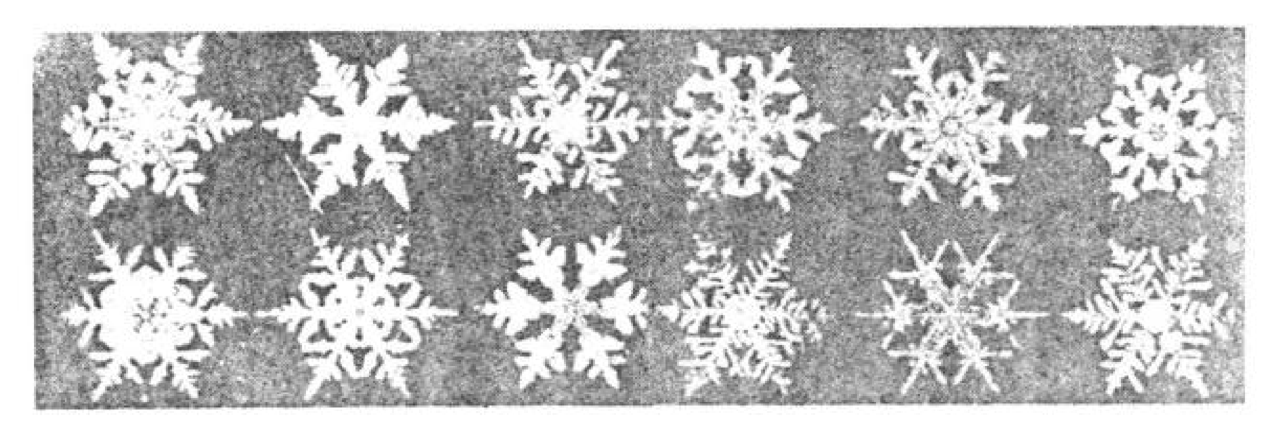


图　1

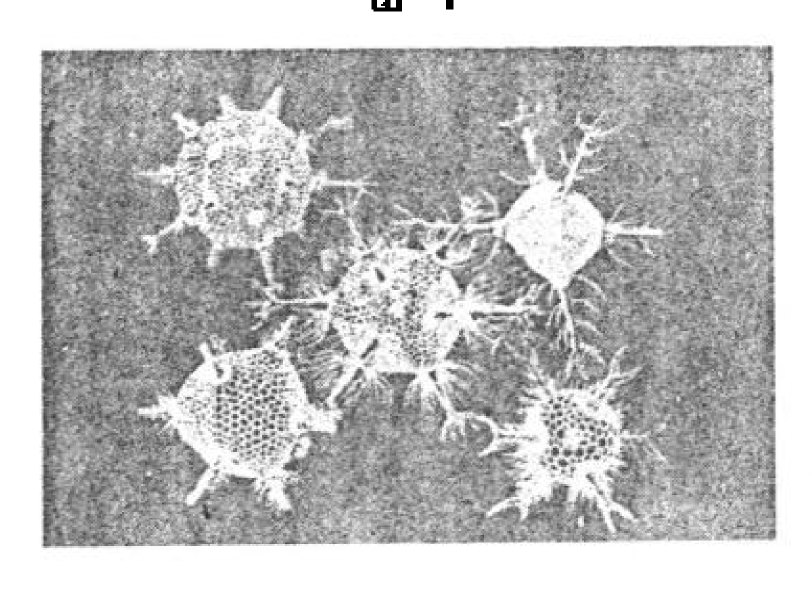


图　2

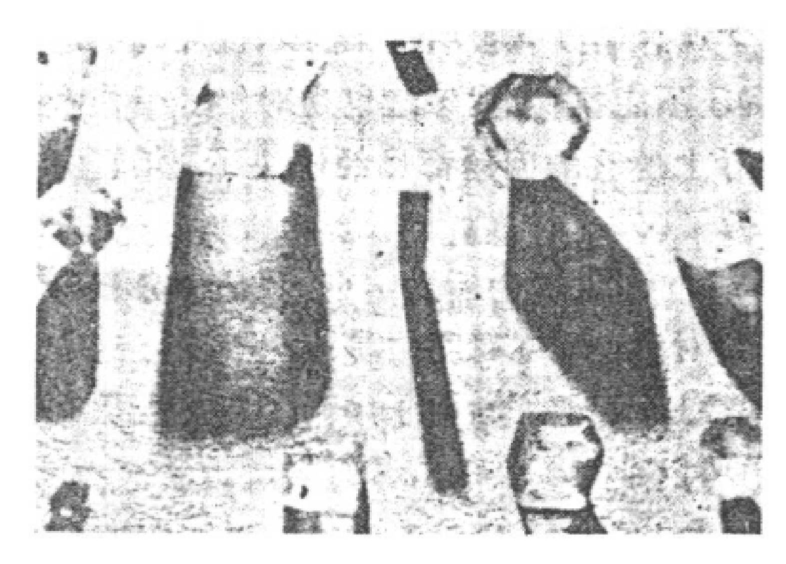


图 3

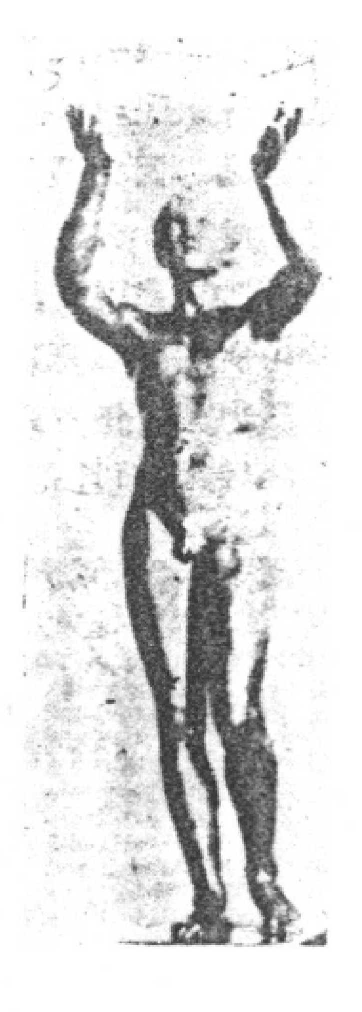


图 5

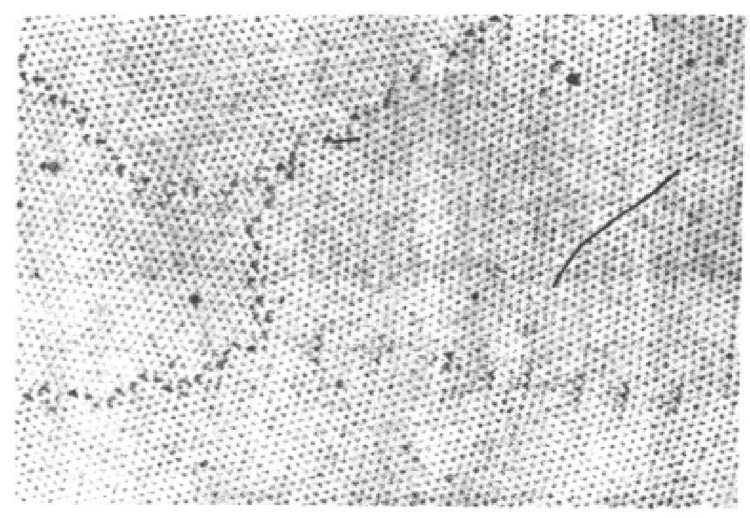


图 4

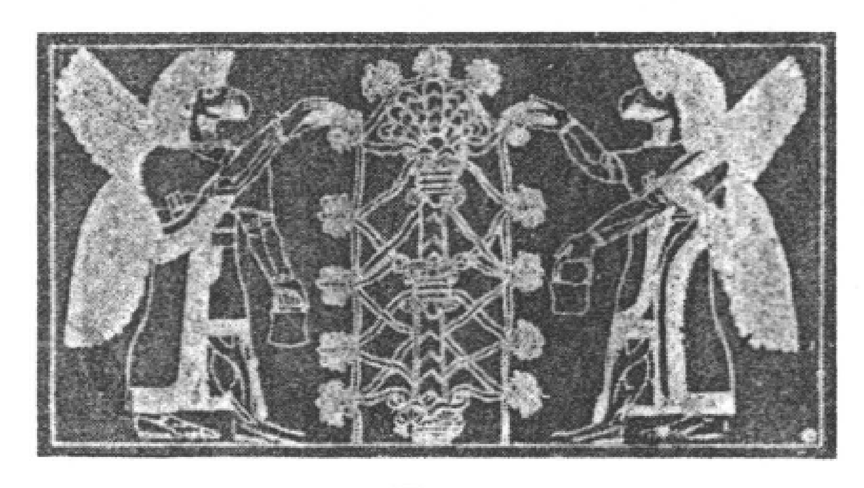


图 6

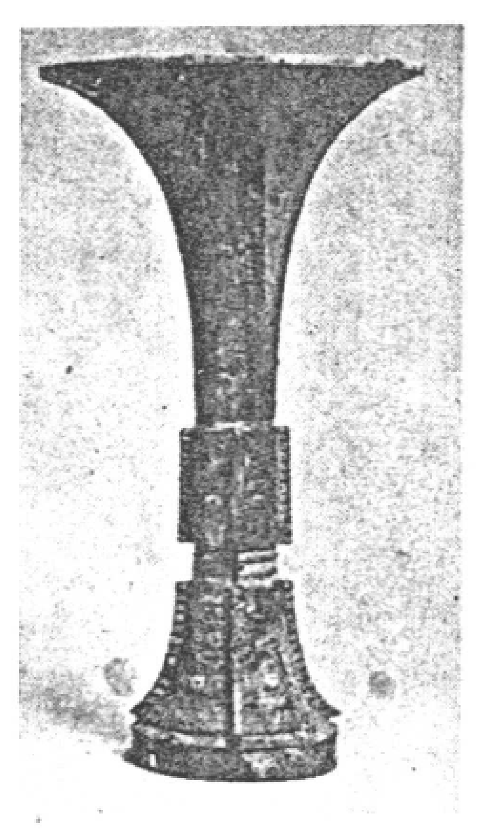


图 7



图 8



图 9



图 10

图 11



图　12

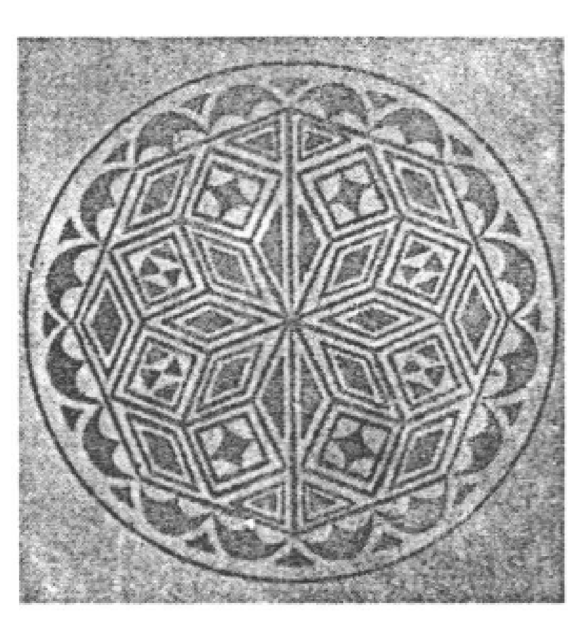


图　13

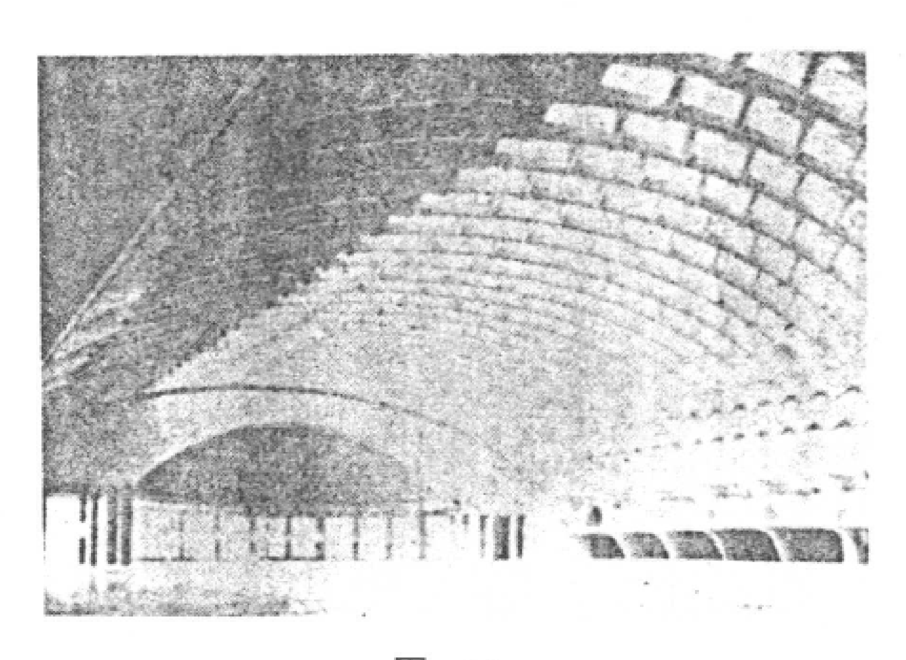


图　14

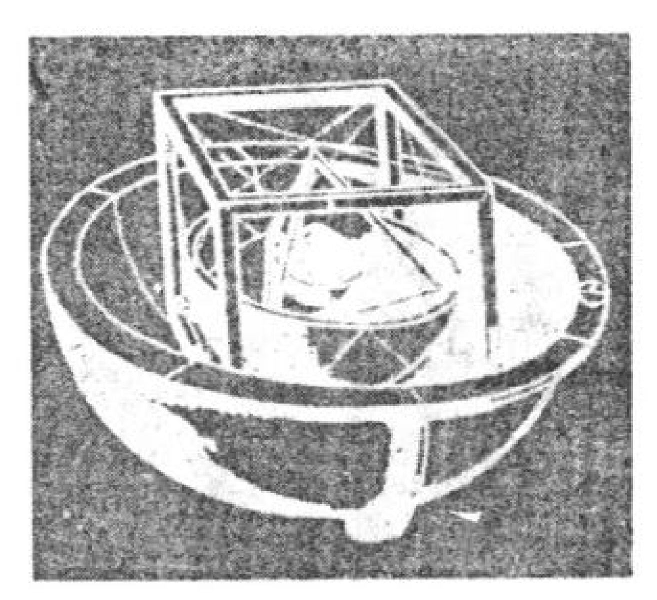


图 15

麦克斯韦方程	现代向量写法
$p' = p + \frac{df}{dt}$ $q' = q + \frac{dg}{dt}$ $r' = r + \frac{dh}{dt}$ $\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi p'$ $\frac{d\alpha}{dt} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q'$ $\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r'$	$\nabla \times H = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}$
$\mu\alpha = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$ $\mu\beta = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$ $\mu\gamma = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$	$H = \nabla \times A$ or $\nabla \cdot H = O$
$P = \mu\left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt}\right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}$ $Q = \mu\left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt}\right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}$ $R = \mu\left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt}\right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$	$E = -\frac{1}{c} \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla\phi$ or $\nabla \times E = -\frac{1}{c} \frac{\partial H}{\partial t}$
$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0$	$\nabla \cdot E = 4\pi\rho$

图 16　麦克斯韦方程的旧写法和向量写法

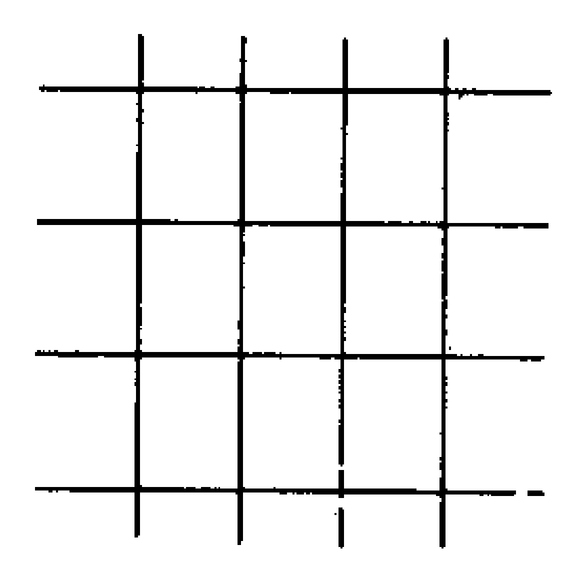


图17　这是一个二维的晶体

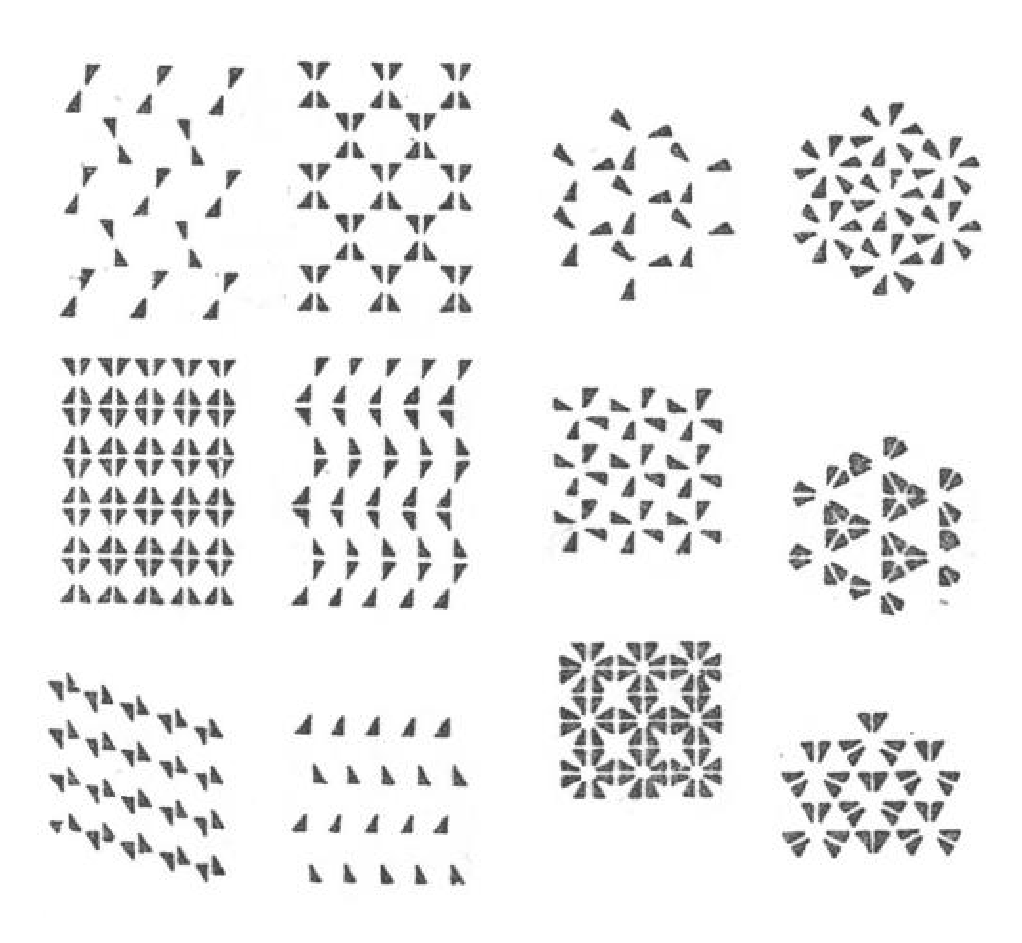


图18　二维空间的一些不变元结构

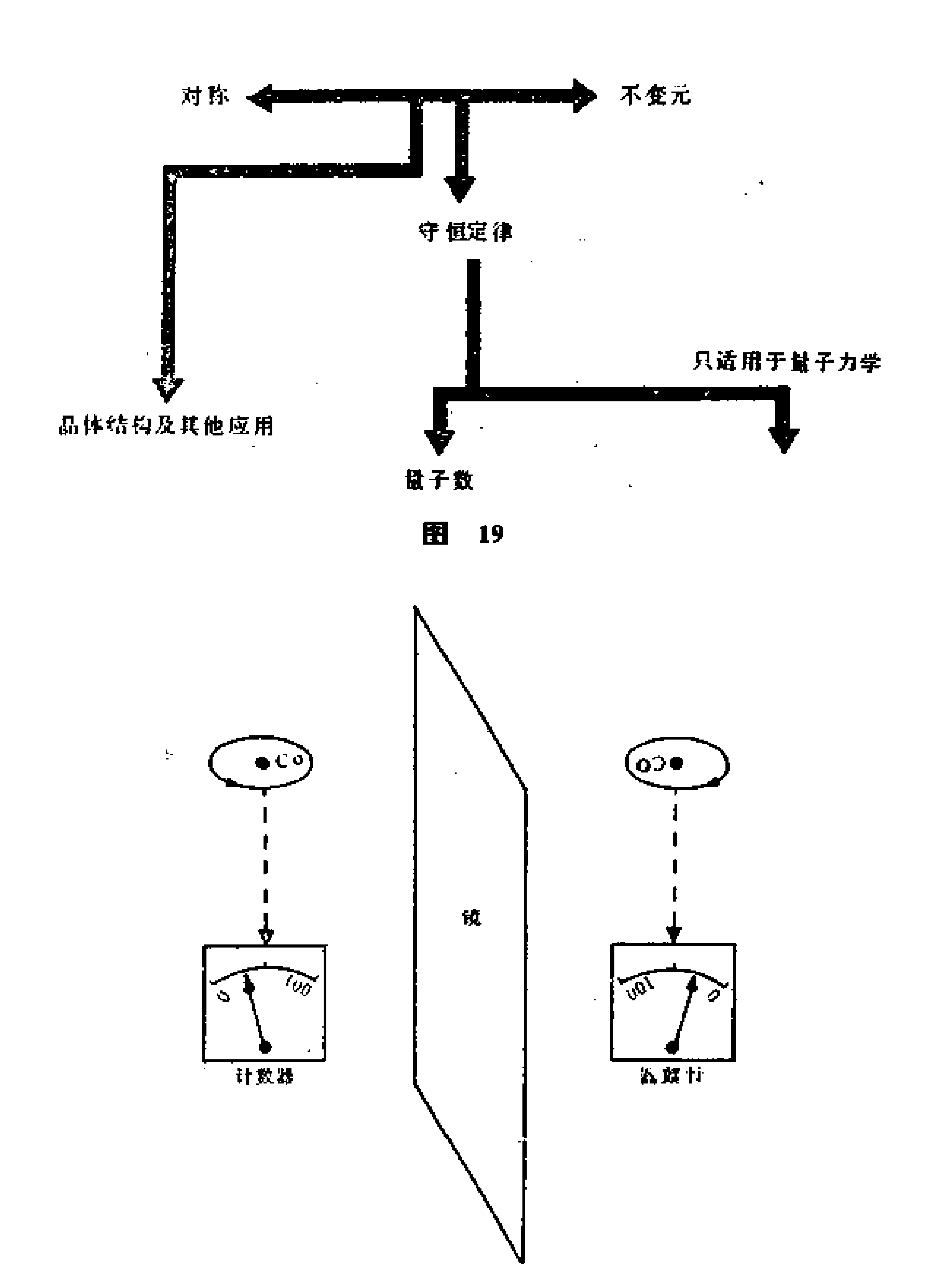


图 19

图 20　β衰变实验

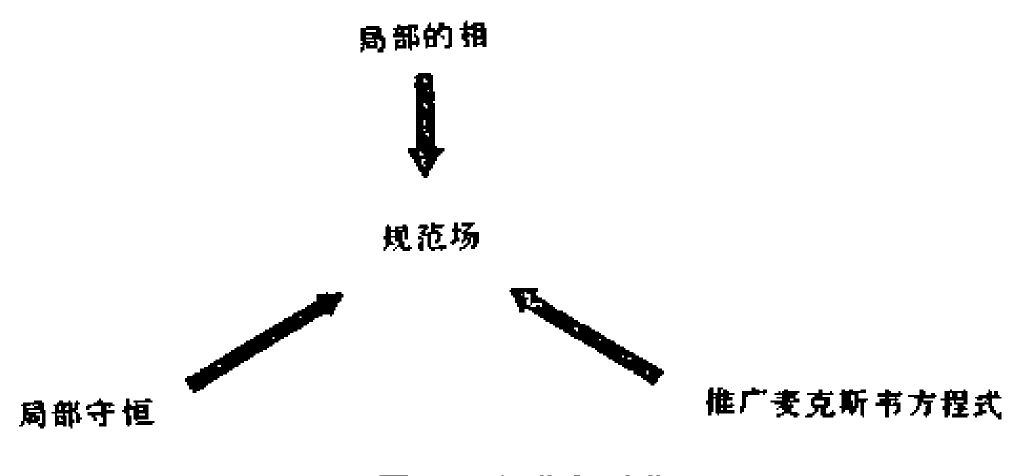


图21　规范与对称

对于中国科技发展的几点想法(1982)

本文原载北京《光明日报》,1982年3月5日。附有该报编者按:本文取自杨振宁教授最近的一封信。杨教授同意在本报发表,并做了少许的修正。希望本文能引起国内科技界的重视,并欢迎大家就本文提出的问题发表意见。

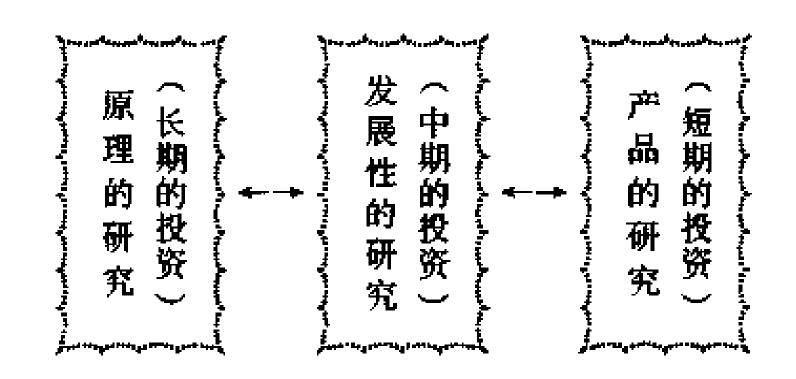
中国已有的各体系内的研究工作,在物理学科内的,倾向于走两个极端:或者太注意原理的研究,或者太注意产品的研究(制造与改良)。介于这两种研究之间的发展性的研究(Development)似乎没有被注重。

从对社会的贡献这一着眼点来讲,原理的研究是一种长期的投资,也许三五十年或一百年以后成果方能增强社会生产力(高能物理的研究是原理的研究的一个典型例子);产品的研究是一种短期的投资,企图一两年或三五年内成果能增强社会生产力(像我了解的半导体所的研究,主要方向是产品的研究)。这两种研究当然都有其对社会的作用。发展性的研究则是一种中期的投资,希望五年、十年或二十年内成果能增强社会生产力。这种投资我觉得是当前中国科技研究系统中十分脆弱的一个环节。

从研究的目标这一着眼点来讲,原理的研究的目标不考虑到应用;产品的研究的目标明确地对准一两种或一两类产品;而发展性的研究的目标则介乎这两者之间,侧重在应用,可是不局限

于一两类已经知道能成功生产的产品。

这三种研究的关系可以用下图大概显示出来：



我觉得中国需要一个新的、效率高的发展性物理研究中心(Research Centre for Developmental Physics)。很多在美国的中国血统的科研人员都同意这一个看法。

美国的经验

今天在美国，原理的研究(又称基本研究)和发展性的研究合称“研发”(Research and Development，或 R and D)。前者主要在大学中和一些国立研究所内进行，后者则主要在大工厂附设的研究所中进行。

下面几个是最有名的厂设研究所(主体进行发展性研究)：

贝尔实验室；

通用电器公司研究实验室；

都庞实验室；

万国计算机公司研究实验室；

爱克桑研究实验室；等等。

这些研究所对美国工业发展的影响极大。而花在发展性研究的经费总额也十分巨大。据估计

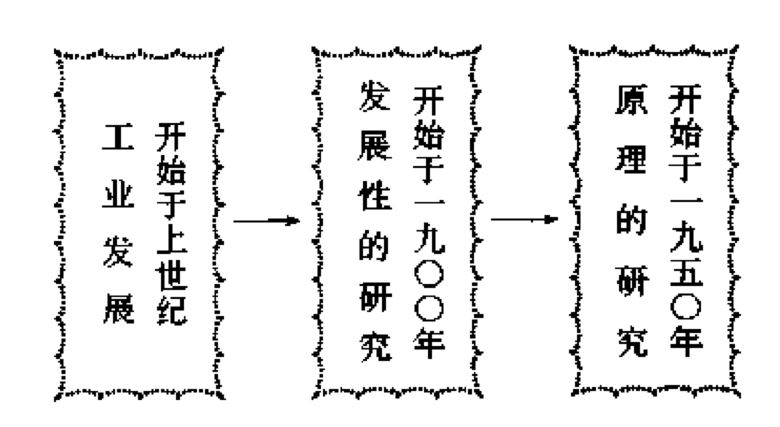
$$\frac{\text{美国全国发展性的研究经费总和}}{\text{美国全国原理的研究经费总和}} \simeq \frac{10}{1}$$

(见国家科学基金委员会第一任主任 A. T. Waterman 在 *Symposium on Basic Research* AAAS Publication 中的文章。因为分子分母的定义都不能完全清楚，这个比例无法十分准确地估计。)这是一个十分值得注意值得思考的数字：它显示了美国科研经费除去产品研究以外，绝大部分是用在发展性的研究上面。

原理的研究成果往往名气大，叫得响，而发展性的研究各工厂则视为财富，不肯公开，所以在中国容易产生一个错误的印象，以为美国原理的研究经费比发展性的研究多得多。事实与此正相反。

在上一世纪美国已经有了茁壮的工业发展。可是当时美国对研究工作的重要性还没有认识，所以研究成果是从欧洲引进来的。到了 20 世纪初年美国几个大工厂开始认识到这种办法不行，才创建了厂设研究所。贝尔实验室、通用电器公司研究实验室和都庞实验室都是那几年创建的。(见 F. Seitz, *Science, Government and the Universities*。Seitz 是 Handler 以前的美国国家科学院院长。)这些研究所不但对美国本世纪的工业发展起了决定性的作用，更重要的是它们的成就使得美国工、商、金融界与美国政府认识了发展性科研的重要。

至于对原理的研究的社会支持在美国只是这 30 年才开始的。这个历史发展的顺序，先实际后原理，先短、中期后长期：



是由经济规律所决定的，绝对不是偶然的。

同样的经济规律支配了日本的科技发展：日本近30年的工业起飞，基本上是建筑在发展性的研究和成品的研究的成果上。原理的研究的经费在日本是少而又少的。

研究中心的规模

上面所提到的几个美国厂设发展性的研究所规模都是很大的。例如贝尔实验室今天就有1.2万名科学、工程人才。其中有3000名是有博士学位的(相当于大学毕业后有5年以上研究经验的人才)。

中国如果建立一个发展性物理研究中心，规模应该多么大，应该着重哪一些专题，应该与哪一些工厂、研究所、大学合作，怎么训练研究人才，应该属于中国政府中哪一个或几个部门(例如哪几个机械部)，应该设在什么地方，这些问题不是在海外的人所能贡献有效意见的。需要在国内召开小组会议，仔细研究，提出五年计划、十年计划，才能据以决定的。

美国的成功的厂设研究所做发展性的研究，有哪些原因使得他们成功呢？我觉得归纳起来有3个原因：

甲、厂方深知这些发展性的研究是厂的5年、10年、15年以后的生命线。所以这些研究所经费充足，设备好，待遇一般比大学、政府机构都要好得多。

乙、研究所的经费来自厂方，其研究成果的最后评价取决于它是不是能给厂方赚大钱。这种价值观念符合经济规律。

丙、所的领导人(许多是科学、工程出身，也有财经、法律出身的)积了多年经验，对哪些题目能在5年、10年内影响厂的发展有较正确的判断力。

在石溪对中国访问学者的演讲(1982)

本文是1982年6月20日作者在纽约州立大学石溪分校对中国访问学者和研究生的一篇演讲的记录。载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年。编者对标题作了改动。

中国派留学生到外国做研究工作的想法,我想应该算是从1861年开始的。那是第二次鸦片战争以后,江苏吴县有一位冯桂芬写了一篇文章,提出"中体西用"这个说法。三十几年以后,即1898年,张之洞发表了一篇有名的文章《劝学篇》,把它发挥了,变成"中学为体,西学为用"。既然要用西学,所以有派留学生的想法。第一次派留学生来美国是在1872年。

那个时候的一些讨论现在再去看是很有意思的。我想总体来讲,那时很多的想法是对的。不过有一个基本的问题却没有弄清楚,就是对于中国整个政体的性质没有掌握清楚。所以虽然有许多讨论,有许多枝节的措施,最后所得出来的结果并不是太成功的。这些不成功使得中国人民对于中国民族和中国文化的自信心大为减低。甚至有一个说法,认为中国整个的文化是要不得的。主张把中国文字跟中国语言完全废除,改用世界语。当时这样主张的人们是很诚恳的,而他们胆子之大也是惊人的(众笑)。

这些都是过去的事了。今天已经没有人再怀疑中国人的脑筋和中国文化是否宜于发展近代科技。这是很大的转变。转变

的原因大体讲来我认为有三个：第一，新中国尖端科技的一些发展快得举世震惊。第二，中国血统的人在不少领域有了重要的贡献。第三，另外一个黄种人的民族，历史上深受中国文化影响的日本民族，在科学界、工业界都有了使人敬佩的发展。

中国人丢掉了一些19世纪末20世纪初的自卑感是好的。今天我想和大家谈谈的是另外一个许多中国访问学者和同学都很关心的题目，与此多少有一些相关。

在美国各个校园里中国研究生读书考试一般都相当好；有不少更是名列前茅。在石溪的校史上，好些系里，有些中国研究生的考试成绩不敢讲是绝后，至少是空前的好(众笑)。这当然使得中国血统的人大家很高兴。不过，我听说最近有了些失望的说法，就是说，考试以后到要做研究工作的时候，问题好像就有点复杂。甚至于有人觉得也许中国人的脑筋不能够做研究工作(众笑)，就只会参加考试(众笑)。

这个看法是完全错误的。我在美国37年了，我看见过的起步做研究工作的人的数目，单在我这行里边，已上千人。让我跟大家谈谈我的两点结论。

两点结论

第一点所有的研究生(这与是否中国血统是没有关系的)一生中最困难的时期通常是做论文的时候，为什么呢？因为一个人从小念书的时候，学习的经历是一个方式：学习已知的东西。书上面讲的，老师讲的是一些已经咀嚼过的题目，大家做算学题目都有过这样的经验，一个书本上的题目，你知道准是有答案的。准是有答案这件事是一个重要的启示。多么重要呢？非常重要。因为这启示使学生注意力集中在一个问题上。

而做论文的时候学习方法是另外一个方式：要寻求未知的东

西，要发现哪些题目是可以有解答的。对学生来讲这是新的经验，学习起来通常是困难的。可是这里头所发生的困难，绝不是中国血统的人所独有的，是大家都有的。我刚才讲我看见过上千的人起步做研究，所以我可以向你们保证这不是中国人独特的困难(众笑)。

第二点，中国文化传统的教育方法是不是使学生不会做研究工作而只会考试呢？我的看法是这样：中国文化传统的教育方法确实使得学生们比较容易在考试成绩上面占便宜。不单是从中国大陆来的同学受到这个好处，从香港地区、从新加坡、从朝鲜、从日本来的学生都受到这个好处。

相对地，西方文化的教育方法，尤其美国的教育方法着重广泛的知识，不着重一步一步的系统教授法。这样教育出来的学生胆子比较大，但是不会考试。

到做论文的时候，哪一种学生占便宜呢？这个问题很难有一个一般性的回答。要看人，要看学科，要看机会，两种方法培养出来的学生各有长短。不过总体讲起来我觉得中国传统教育方式所训练出来的人还是要占一些便宜；多了一些工具，多了一些基本的自信心，总是好的。不过在考试的时候，他们所占有的压倒性的便宜，到做研究工作的时候要打一些折扣就是了。

两个月前我碰到斯坦福大学的肖洛(Schawlow)教授。他是激光原理创始人之一，是重要光学家。他说前两年有几位从华东师大来和他合作的访问学者，他们刚来的时候有一段时期要熟悉实验室的情况，进展较慢。半年以后就都做得很成功了。到临离开美国回上海的时候，他们已经到了随时想新方法、新实验的阶段。肖洛教授说，“只要有设备，他们没有问题会做出杰出的研究。”

几点建议

对大家做学问的方法我有几点建议。第一个建议是随时尽量把自己的知识面变广一些。比如说随时到图书馆去浏览一下,“开卷有益”这句话不是没有道理的。是不是一个人会被研究工作跟生活压迫得透不过气来,不能够花时间到图书馆去走走看看呢?我想这当然也是因人而异。不过一般讲起来,不管多么忙,抽空去使自己知识宽广化最后总是有好处的。我可以举一个切身的例子。我在西南联大念书的时候,王竹溪先生刚从英国回来。他作了一系列关于相变(Phase Transition)的演讲。那个时候英国、美国有很多人搞这个东西,搞得非常之热闹。记得听王先生演讲的人很多,我也去听了。可是我大学还未毕业,没有听懂。是不是白听了呢?不然,因为从那以后我就不时地对这个问题注意。

听王先生的演讲是在1940年前后,我后来写的第一篇关于相变的文章是在1951年,即是10年以后。这10年期间断断续续地对这类问题的注意,最后终于开花结果了。以后几十年相变工作是我主要兴趣之一,所以1940年前后听王先生的演讲这个经历对我的研究工作有了长远的决定性的影响。

第二个建议是不要钻牛角尖。假如你做一件事情做得很苦,我想也许值得考虑不要做这个东西了,去另外想想别的东西。一个学问的前线的方向是很多的,有许多有生气的方向。最好走向这些有生气的方向。牛角尖不是绝对不可以钻,但是必须保持主动性,保持有见机而退的能力与勇气。

第三点建议其实跟刚才所讲的第一点有很密切的关系。我觉得学习有两个办法。一个办法是按部就班的;一个办法是渗透性的。什么叫渗透性的呢?就是在你还不太懂的时候,在好像乱

七八糟的状态之下，你就学习到了很多的东西。中国的传统的教育方法是着重按部就班的学法，这确实有它的好处。我想假如我对一组美国学生谈话，我就会讲你们应该多学习一些按部就班的方法。可是对中国来的学生，我想一个好的建议是不要怕不按部就班的学法，不要怕渗透性的学法。因为很多东西常常是在不知不觉中，经过了一个长时期的接触，就自己也不知道什么时候已经懂了。这个学习方法是很重要的。

最后我有一点也希望给大家讲的，就是做研究工作到最后必须要做自己所做的东西，不是在那儿跟着别人跑。老跟人跑的研究工作，不大可能是有真正重要的建树的。这当然并不是说一开始就非要独创一家不可，那是不可能的。学问是累积起来的，所以必须要先学习别人所做的东西，然后才可能有自己的见解。不过，在学习过了一个相当程度以后，必须要发展自己的见解。不能老跟着当时"权威性"的看法跑。

我很高兴今天来了这么多的访问学者和研究生。让我代表石溪这边你们所请的客人向各位主人表示谢意。你们在这儿烧饭也不是很简单的(众笑)，烧了这么多的东西给我们吃，我们很感谢(众热烈鼓掌)。

分立对称性 P、T 和 C(1982)

本文原载 Chen Ning Yang: The Discrete Symmetries P, T and C. Journal de Physique, Colloque C 8, Supplement au No.12 December 1982. 中译文载《杨振宁谈科学发展》，八方文化企业出版社，1992 年。译者张美曼。

一　宇称 P 的概念

1924 年奥托·拉波蒂(Otto Laporte)[①]在分析铁元素的光谱结构时发现了两类项，他分别称它们为“带撇项”和“不带撇项”。跃迁总是从带撇项到不带撇项或者反过来，从来没有发现跃迁在带撇项之间、或者不带撇项之间发生。后来发现，这个选择规则也适用于其他元素的原子谱，并给这个规则起名为“拉波蒂规则”或“拉波蒂—拉赛尔”规则(Laporte-Russell)，在量子力学发展起来之后，这个选择规则被解释与下面的变换下的不变性有关[②]。

$$i:\qquad x'=-x\qquad y'=-y\qquad z'=-z$$

这个变换被称为镜像，韦耳(Weyl)选用符号 i 表示这个变换。韦耳给这个算符的本征值起名为“符号差”(signature)。1931 年，在维格纳(Wigner)[③]的书中本征值被称为“镜像特征标”。“宇称”这个名词是何时开始被采用的，我了解得不确切。在 1935 年，康登(Condon)和肖特勒(Shortley)[④]用了“宇称算符”这个词。

在30年代,宇称对称很快地成为原子物理、分子物理和原子核物理语言的一部分。能级安排、选择和强度规则及角分布都明显地或隐含地用设想的宇称守恒的概念进行了讨论。当基本粒子物理开始发展时,宇称守恒很自然地转入到新的领域中。

在进入宇称不守恒的课题之前,回忆一下过去是很有趣的。今天,群论在物理学中的广泛应用被认为是理所当然的事,然而在20年代晚期,韦耳和维格纳将群论引入物理中时一点也不受欢迎。在维格纳的书的1953年英文版前言中,他写到[③]:

> 当最初的德文版于1931年发表时,物理学家很不情愿接受群论的论证和群论的观点。使作者感到愉快的是就在这一期间这种反感实际上消失了。事实上,年轻一代并不理解这种反感的原因和基础。在老一代人中,可能是范劳埃(M. Van Laue)首先确认了群论的意义。他认为群论是在处理量子力学问题中得到最初认识的自然工具。范劳埃对出版者和作者的鼓励对这本书得以问世做出了贡献。我喜欢回忆他的问题,在这卷书中对他的问题导出的结果,我认为是最重要的。我的回答是这样,拉波蒂的规则(宇称的概念)和矢量相加模型的量子理论,我认为是最有意义的。自那时以来,我终于同意了他的回答,确认几乎所有的谱学中的规律都从问题的对称性得出,这是最出色的结果。

在写下这段话后的二十多年里,越来越大的李群找到了它们进入物理学文献的路。人们可能会担心,是否这个好且重要的发展被滥用了。

现在我们来谈谈50年代。在对τ粒子衰变的研究中,达立兹(Dalitz)引入著名的达立兹图[⑤]对τ粒子可能的自旋一宇称进行了分析。这是一个特别有用的方法。在1955年1月份,他得

到了一个结论[6]，即"如果 τ 介子的自旋小于 5，它就不能衰变到两个 π 介子"。换句话，τ 和 θ 粒子的自旋—宇称安排很像是不相同的。但是这个结论必须与有关 τ 和 θ 粒子质量与寿命的实际相对照。那时的气氛可以从 1950 年我在西雅图举行的理论物理国际会议上作的题为《关于新粒子的现有的知识》的报告中的一段看出[7]。

> 然而，不能轻率地下结论。因为实验上这些 K 介子仿佛有相同质量和相同的寿命。可以说他们的质量精确到 2 到 10 个电子质量，或百分之几，它们的寿命精确到 20%，由于这两种粒子有不同的自旋和宇称值，它们又都与核子和 π 介子有强相互作用，因而不能期待它们有相同的质量和寿命。这迫使人们认为这个问题继续存在，即上述的 τ^+ 和 θ^+ 不是相同粒子的推论是否是结论性的。我可以插上这样一段话，推论确实已被当作结论性的了，在事实上它比物理学中许多其它的推论的基础要好得多。它不赞成质量和寿命的反常简并。

注意到词"反常"的应用是有趣的，这个词的应用泄露了那时候的感情，那简并不应该存在。

从 1956 年初开始，这个进退两难的推论被明确地称为 $\theta-\tau$ 之谜。在这一年的 4 月里，在罗彻斯特会议上，按大会的约请，我做了一个新粒子的报告，在报告中我化费了一半以上的时间去讨论这个谜[8]，在这个会议结束时，奥本海默说："τ 介子有内部的或外来的复杂性，两者都不会是简单的。"

这个谜被后来发现的宇称不守恒解决了。为什么这不是一个显然的直接的解？我想有三条理由：

1. 一般地自动地认为几何对称性是绝对的。在原子、分子和核物理中，空间—时间对称性的精确性仅进一步加强了这个先

验的信念。

2. 在核物理和原子物理中，宇称选择规则工作得一样好。借助于宇称选择规律，成百个实验成功地分析了核能级的鉴别，核反应和 β 衰变。面对过去这些广泛的经验，很难去接受宇称破坏的思想。

3. 宇称仅在弱作用中不守恒的思想还没有诞生。在1956年4月下旬和5月上旬，李政道和我研究 $\theta-\tau$ 之谜。我们特别担心在实验

$$\pi p \rightarrow \Lambda^{\circ} \theta^{\circ}$$
$$\Lambda^{\circ} \rightarrow \pi^{-} p$$

中二面角的定义。在罗彻斯特会议上舒特(R.P.Shutt)、斯坦伯格(J.Steinberger)和瓦尔克(W.D.Walker)的小组报告了这个实验。有一天，李和我突然想到也许宇称仅仅在弱作用中不守恒。这会在反应(2)中产生上下不对称性。这个想法使我们紧张地工作了几周，特别是对 β 衰变的研究。我们在6月份向物理评论提交了一篇题为《宇称在弱作用中守恒吗?》的文章，发表于10月份[⑨⑩]。但发表时文章的题目改为:《在弱作用中的宇称守恒问题》，因为编辑规定，文章的标题不能含有问号。

我们建议了几种检验方法，去发现在弱作用中宇称是否守恒。有两组人于1956年开始做我们所建议的那些实验，其中一组是哥伦比亚的吴健雄和标准局的安布勒(E. Ambler)、海沃德(R. W. Hayward)、霍普斯(D. D Hoppes)及赫德逊(R. P. Hudson)。另一组是芝加哥的泰勒格弟(V.L. Telegdi)和费雷德曼(J.I. Friedman)。在1957年1月初哥伦比亚—标准局的实验证明在 β 衰变中确实存在宇称不守恒时，戈文(R.L. Garwin)、莱德曼(L.M. Lederman)和韦恩瑞其(M. Weinrich)突击于48

小时内完成了另一个宇称不守恒的实验。这三个实验结果使所有的物理学家相信宇称在弱作用中不守恒[11]。

二　时间反演 T 的概念

在经典物理学中，时间反演不变性是一个早在 19 世纪就已经研究过的课题。对这个不变性的现代理解是从克拉默(Kramers)的定理[12]开始的。这个定理说，在任何一个电场中，对奇数个电子来说，能量本征态至少是双简并的。为证明这个定理，克拉默用了一个包括对电子系统的波函数进行复数共轭运算的算子。两年之后，维格纳[13]证明，在量子力学中这是一个正确的时间反演算子。

维格纳的时间反演算子没有立刻被物理学家们赏识[14]。甚至直到 1941 年，当泡利写他那篇场论的总结文章[15]时，也没有提到这个算子。泡利好像喜欢另一个不包括复数共轭运算的算子(那个算子是不正确的)。确实，复数共轭运算使得时间反演算子很难理解，并且应用时也很困难。因此整个 30 年代和 40 年代，只有几篇文章讨论这一课题。

今天，我们知道时间反演不变性的一个重要应用就是确定跃迁矩阵的元素之间的相对相位。首先使用这一想法的是劳依德(S. Lloyd)，他讨论了电 2^L 极和磁 2^{L+1}极辐射的矩阵元素之间的相对相位[16]。

施温格(Schwinger)[17]引入了时间反演不变的另一种形式，但他的公式在实质上与维格纳的公式等价。

三　电荷共轭 C 的概念

电荷共轭概念的起因与宇称和时间反演完全不同。事实上它在经典力学中没有对应物。

当狄拉克[18]写下他的关于狄拉克方程的文章时，在引言中他提到负能态是成问题的："因此所得到的理论仅仅是一个近似……"。两年之后，他在题为《电子和质子的理论》的文章中又回到这个问题上[19]。在这篇文章中他提出"所有的负能量态都被占据了，也许有少数的几个空着……"。他称这些未被占据的负能量态为"空穴"，他假定"分布在负能量中的是空穴质子"。他又提出两个问题："现在的理论能说明电子和质子之间巨大的不对称吗？它们的质量是不同的，而质子能组合形成重的原子核。"这篇文章发表之后不久，塔姆(Tamm)、狄拉克、奥本海默和韦耳做出结论[20]，期待的不对称并不存在。而且，如果空穴是质子，那么氢原子的寿命将是 10^{-10} 秒。这显然是错误的。因此，奥本海默[21]提出质子和电子应分开处理。结果就是下面的看法

> 在这个世界上，正如我们所知道的，不只是几乎所有的，而是所有的负能量电子态都被占据了。一个空穴，如果存在，将是一类新粒子，它是实验物理还不知道的，它与电子有相同的质量、符号相反的电荷。我们可以称那样的粒子为反电子[22]。

这就是电荷共轭粒子概念的诞生。我曾将狄拉克为创造"空穴"这个思想所采取的步骤比作为"负数的第一次引入"[23]。这导致了今天对"真空"本质的深奥微妙的理解，这是我们的空间—时间概念的一场革命。我一直很欣赏狄拉克提出负能量粒子海那样疯狂思想的勇气，关于这个问题有一天我曾问过狄拉克。然而他说，在那个时候这个思想并不那么疯狂(按照他的意见)，因为人们在原子壳结构中已经对空穴很熟悉了。我想，对他来说也可能并不那么疯狂，因为他相信[22]

> 现在能够建议的最有效的先进方法是，采用纯数学的所有手段使现存的理论物理基础的数学公式完美化并得以推广，每

一次在这个方向上取得成功之后，都要借助于物理的存在去解释新的数学特性。……

但那时与他同辈的物理学家们却非常不欢迎他的思想。〔见Moyer, D. F. Am. J. Phys. *49*(1981)1055.〕

在这个发展中，法雷(Furry)[24]迈了下一步，他证明了一个后来称之为法雷定理的定理。用费曼图语言来表达，则这个定理是说，量子力学中奇数级的电子—正电子圈图中，方向(方向定义从电子到正电子)相反的两个图彼此相互抵消。法雷在文章的摘要中强调，抵消是"电子和正电子之间分布的对称性带来的"。

在大约相同的时间，麦杰拉纳(Majorana)[25]和稍后的克拉默[26]开始着手于共轭对称的正规处理。

在1937年发表的这三篇文章是很有趣的，除讨论电荷共轭外，他们接触了各种各样附加的概念，这些概念后来变得有趣和重要：麦杰拉纳的文章引入了中微子的麦杰拉纳理论；克拉默用下面一段话结束他的文章：

作为我们期待的结果，一个修正必须加到1928年狄拉克理论给出的氢原子静态能级上。

在以后的文章中我们将比较详细地讨论实际计算这一修正的可能性。(原文是意大利文)

虽然克拉默早在1937年就开始考虑重整化程序的思想，但似乎没有获得成功的结果。

在第二次世界大战期间，法雷定理被推广到各种类型的介子—核子耦合[27]，佩斯(Pais)和乔斯特[28](Jost)证明，这些都与电荷共轭不变性和电荷对称有关。电荷共轭不变性的进一步应用是米协尔(Michel)[29]及李、杨做的[30]。

1956—1957年的实验证明了弱作用不遵守宇称守恒，并证

明了弱作用不遵守电荷共轭不变性[11][31]。

四　CPT 定理

在施温格关于场论的文章中[32]，隐含有对后来称之为 CPT 定理的认识，这个定理表示，在任一洛伦兹不变的定域场论中，算子 CPT 使理论保持不变，即使 C、P 和 T 个别地不能保持理论不变。吕德斯(Lüders)[33]部分地证明了这个定理，而泡利[34]给出比较完全的证明。这个定理在 50 年代中期有很大的现实重要性。

乔斯特于 1957 年指出了 CPT 定理与微观因果性之间的关系[35]。

从概念的观点来看，下面的事实是有趣的。量子力学必须使用复数，复数在我们描写物理宇宙中起着实质性元素的作用，而量子场论则必须使用解析函数，从这些发展中得出了 CPT 定理[36]。

此刻我们当然不知道，在我们对 CPT 定理的理解前面，是否还有什么更奥妙的发展。

五　*CP* 不变性的破坏

在 C 和 P 不守恒发现以后，为了尽可能挽救尽可能多的对称性，*CP* 严格守恒的提议出现了。在一些年里，这个提议与所有的实验结果符合。但在 1964 年，克里斯坦桑(Christenson)、克劳宁(Cronin)、费奇(Fitch)和特雷(Turlay)[37]发现 *CP* 守恒也不是严格有效的。由于 CPT 定理，于是相信时间反演不变性也不是严格有效的。

六　评　论

直到今天，对分立对称破坏的研究还在许多方向上继续进

行。对 P、C 和 CP 不守恒现象已经知道得很多了。从理论上看，这些研究造成了两个最重要的概念上的发展，第一个发展是对早有的中微子二分量理论[38]的再次肯定[39]。第二个发展是小林(Kobayashi)和益川(Maskawa)[40]在 1973 年所做的令人十分惊奇的分析，即为了容纳 CP 不守恒，仅有 4 个夸克是不够的，从技术上看，P 守恒的破坏使得产生极化粒子束成为可能，这种束促进了许多实验研究。

但是造成分立对称破坏的基本原因今天仍然不知道，事实上，对这些破坏连一个可能的基本理论上的建议都没有。我相信那样一个基本理论必须存在，因为从基础上看，我们知道，物理世界所取的理论结构决不是没有原因的。

注：

① LAPORTE, O., Zeit. f. Phys. *23*(1924)135.

② WIGNER, E.P., Zeit. f. Phys. *43*(1928) 624; NEUMANN, J.V. und WIGNER, E. P., Zeit f. Phys. *49* (1928)73; WEYL, H., *Gruppen Theorie and Quantenmechanik* (Leipzig, 1928).

③ WIGNER, E.P., *Gruppen Theorie und Ihre Anwendung auf die Quantenmechanik der Atomspektren*, (Friedr. Vieweg, 1931); English translation (Academic Press, 1959).

④ CONDON, E.U. and SHORTLEY, G.H., *The Theory of Atomic Speectra* (Cambridge University Press, 1935).

⑤ DALITZ, R.H., Phil. Mag. *44*(1953)1068; Phys. Rev. *94*(1954) 1046; FABRI, E. Nuovo Cimento *11* (1954)479.

⑥ DALITZ, R.H., in *Proceedings of the 1955 Rochester Conference*.

⑦ YANG, C.N., Rev. Mod. Phys. *29*(1957)231.

⑧ YANG, C.N., in *Proceedings of the 1956 Rochester Conference*.

⑨ LEE, T.D. and YANG, C.N., Phys. Rev. *104*(1956)254.

⑩ See YANG, Chen Ning, *Selected Papers 1945—1980 with Commentary* (Freeman, in press).

⑪ WU, C.S., AMBLER, E., HAYWARD, R.W., HOPPES, D.D. and HUDSON, R.P., Phys. Rev. *105* (1957) 1413; GARWIN, R.L., LEDERMAN, L.M. and WEINRICH, M., Phys. Rev, *105* (1957) 1415; FRIEDMAN, J.I. and TELEGDI, V.L., Phys. Rev. *105* (1957) 1681. See *Adventures in Experimental Physics*, Gamma volume, ed. B. Maglich (World Science Education, 1973).

⑫ KRAMERS, H.A., Proc. Acad. Amsterdam *33* (1930) 959. Reprinted in *A.A. Kramers Collected Scientific Papers* (North-Holland, 1956).

⑬ WIGNER, E.P., Nachrichtung Akad. Wiss. Gottingen, Math-Physik, (1932) 546.

⑭ 阅将由 Springer-Verlag 出版的 M. Dresden 写的 H.A. Kramers 的传记。

⑮ PAULI, W., Rev. Mod. Phys. *13* (1941) 203.

⑯ LLOYD, S., Phys. Rev. *81* (1951) 161.

⑰ SCHWINGER, J., Phys. Rev. *82* (1951) 914.

⑱ DIRAC, P.A.M., Proc. Roy. Soc A117 (1928) 610.

⑲ DIRAC, P.A.M., Proc. Roy. Soc A*126* (1930) 360.

⑳ TAMM, I., Z. Physik *62* (1930) 545; DIRAC, P.A.M., Proc. Camb. Philos. Soc. *26* (1930) 361; OPPENHEIMER, J.R., Phys. Rev. *35* (1930) 939; WEYL, H., *Gruppen Theorie und Quantenmechanik*, 2nd edition, (1931) 234.

㉑ OPPENHEIMER, J.R., Phys. Rev. *35* (1930) 562.

㉒ DIRAC, P.A.M., Proc. Roy. Soc. *A133* (1931) 60.

㉓ YANG, Chen Ning. Paper [59c] in reference 10 above.

㉔ FURRY, W.H., Phys. Rev. *51* (1937) 125.

㉕ MAJORANA, E., Nuovo Cimento *14* (1937) 171.

㉖ KRAMERS, H.A., Proc. Acad. Amsterdam *40*(1937)814.

㉗ FUKUDA, H. and MIYAMOTO, Y., Progr. Theoretical Phys. *4* (1950) 389; MISHIJAMA, K., Progr. Theoretical Phys. *6*(1951)614.

㉘ PAIS, A. and JOST, R., Phys. Rev. *87*(1952)871.

㉙ MICHEL, L., Nuovo Cimento *10*(1953)319.

㉚ LEE, T.D. and YANG, C.N., Nuovo Cimento *3*(1956)749.

㉛ LEE, T.D. OEHME, R. and YANG, C.N., Phys. Rev. *106* (1957)340. This paper was written as a result of a letter from Oehme dared August 7, 1956. See Commentary on [57e] in ref. 10. See also 10FFE, B.L., OKUN, L.B., RUDIK, A.P. JETP 32(1957) 396.

㉜ SCHWINGER, J. Phys. Rev. *91*(1953) 713; *94*(1954) 1362. See especially equations (54) and (209) and discussions of these equations in latter paper.

㉝ LÜDERS, G., Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Mat.-fys. medd. *28*(1954)No.5.

㉞ PAULI, W., in *Niels Bohr and the Development of Physics* (Pergamon, 1955).

㉟ JOST, R., Helv. Phys. Acta, *30*(1957)409.

㊱ 韦耳 1930 年 11 月在他的群论和量子力学一书的前言中写了一段有趣的话：

质子和电子的基本问题已经在它与量子定律的对称性的关系中讨论了，而这些性质是与左和右、过去和将来，以及正电和负电交换有关。现在似乎还看不到这个问题的解决；我担心，悬在这一课题上的乌云会滚动到一处，形成量子物理中的一个新的危机。

〔阅 H.P. Robertson 的译文，(Dover, 1950)〕他是在考虑 P、T 和 C，但我不能肯定他指的危机是什么。

㊲ CHRISTENSON, J., CRONIN, J.W., FITCH, V.L. and TURLAY, R., Phys.Rev. Letters *13*(1964)138.

㊳ SALAM, A., Nuovo Cimento 5(1957)299; LEE, T.D. and YANG,

C.N. Phys. Rev. *105*(1957) 1671; LANDAU, L., Nuclear Physics *3*(1957) 127.

㊴ WEYL, H., Z. Physik *56*(1929) 330.

㊵ KOBAYASHI, M. and MASKAWA, T. Progress Theoret. Physics *49* (1973) 652.

讨　论

米协尔：

杨教授，谢谢您。

我肯定，杨教授的这个报告将在圆桌成员之间和听众之间引起愉快的讨论。我将用我作主席的特权向历史学家们说几句，事情对我们来说很清楚，当然，对维格纳来说对30年代开始的事情也很清楚，但对物理学家们并不是很清楚的。例如，我可以列出一个名单，他们违反了宇称但并不知道，例如今天上午我们所谈论的物理学家中的一些我特别尊敬的人，例如托赛克(Tousheck)的双β衰变的文章。我昨天引用的埃纳错(Enatsu)他在1950年之前就有了最经济的矢量介子——中间玻色子。我还可以引用其它几个人。我甚至可以引用泡利，他在宇称问题上的一些有关论证是错的，这个错误出现在一封信中。他回答我说："是的，但是你在电荷共轭上也有错误。"当然，这是真的。我可以得到原谅的是卡姆(Kammer)教授在我之前，在他著名的关于电荷独立的文章中出现同一错误。我不想谈时间反演，我也应当谴责我自己在1951年反对时间反演的过失。你们知道，这是在我到普林斯顿并且认识了维格纳之前的事，但是，如果我把那些违反时间反演的文章罗列出来，可能要花费几个小时。我想，我可以问维格纳一些关于宇称和时间反演的问题。您懂得时间反演比任何一位物理学家都早，您在1932年就写了这方面的文章，例如，我记

得 1951 年的辩论。现在知道 P 和 T 不变性是自然界中两个近似的定律。您是否愿意给我们谈谈您的回忆和评论?

维格纳:

我必须承认,我确实被反射对称性的破坏吓了一大跳。我对电荷对称的破坏从未惊讶过,我知道地球上大多数电子带负电,大多数质子带正电。但是对反射有影响的对称性的存在对我是一个震动。让我说一件我感到十分困惑的事吧,柯克斯(Cox)博士寄给我一篇 β 衰变的文章,他的文章清楚地表明空间对称性有效性的欠缺。

米协尔:

那是什么时候?

维格纳:

很久以前,1932 年或 1933 年。我给他回信说,你的实验结果好像与反射对称矛盾,我愿意仔细地看一下这篇文章。他收回了这篇文章。自从我意识到这篇文章是正确的以后,我总感到十分窘迫,但是这样的事发生了。

杨振宁:

我是否可以说一点关于这个问题的意见?

李·格劳翠斯(Lee Grodzins)的文章对柯克斯的实验做了仔细的分析。这篇文章收在麦格里克(Maglic)编的《实验物理中的冒险》一书中。在这篇文章中,他得到下面的结论:柯克斯发现的效应的量值(大概是 β 衰变涡旋度)大致上是对的,但是符号是错的。格劳翠斯加了一段话,他相信实验是正确的,但在资料分析中柯克斯得出了一个错误的符号。

阿马尔第(E. Amaldi):

正如杨振宁指出的,在 1928 年和 1930 年,有一些实验提供了电子纵向极化的证据,在近几年这些文章被广泛地讨论,得到

的结论是，这些结果与宇称守恒的关系没有被同时代的物理学家和作者自己确认和理解。这些文章的参考文献在我的“β衰变打开了通向弱作用的路”的报告末尾给出了（文献99，100）。

米协尔：

我可以提供另一个“可能是”宇称破坏实验的轶事。这是1955年的事。鲍开雅特（Bouchiat）和我计算了在巴巴（Bhabba）散射中电子—电子莫勒（Moller）散射的关联，后来哈尔本（Halban）来了（他已经不和我们在一起了），对我说：“啊哈，我愿意做这个实验，这是很有趣的实验。它是否很重要？”我告诉他：“你知道QED有效到6位数字（在那个时候），因此，如果你做这个实验，达到10％甚至1％的精度，那将是很重要的事，不过也可能不会教给我们许多东西。”不管怎样，他们开始用^{32}P源做实验，但你们知道^{32}P的寿命仅仅是两周，在买了3个源之后，他们不再有耐心了，也许由于基金和时间的原因，他没有发表他们的结果。当宇称不守恒这个爆炸性的新闻出现后，他们来看我，说：“那么我们能做什么？”我说：“就再做一次相同的实验罢。”他们做了类似的实验，维格纳教授，时间反演方面的情况怎么样？你谈到了时间反演，并且还由于在克拉默的漂亮文章后，你第一个为我们在量子力学中确认时间反演而受谴责。克拉默的文章你引用过，我们也读过。关于时间反演你有什么评论吗？我想说一下，时间反演是我在现代物理评论中读到过的被引用的一些例子中的一个，在那些例子里，维格纳理解了物理，但物理学家们不理解维格纳，这种情形持续了20年。

维格纳：

坦率地说，我完全相信时间反演不变性和反射对称是有效的。当证明这些不再有效时，对我是极大的震动。我完全注意到熵增加的事实，但对此我有一个基于初始条件上的完全不同的解

释。我相信这个解释是有效的，它并不缺少时间反演不变性，由此造成熵增加。但是我必须说，我很尊敬那些大胆地期望这些不变性不是有效的人。我不知道这些不变性无效是否也依赖于初始条件。可以肯定，这张桌子中所有的电子都带负电，这个事实是初始条件造成的。但这一点并不清楚，即前述的对称性的缺少能被简化为我们世界的对称性的缺少。下面的设想是可能的，即弱相互作用的全部存在是由于这个世界的某些初始条件，但是我不相信它，因此我像以前一样为这些对称性的有效性的缺少而感到迷惑。如果我们相信自然界中的所有定律都是简单的，美好的，那么这些不变性应该有效。你们愿意反驳我吗？

杨振宁：

我认为每一个人最初的倾向是喜欢有更多的对称性。关键是这些桌子充满了电子而不是正电子。现在有了一个理论(这个理论还需要证明)，在某种意义上这个理论理解这一点。我认为，对称性和自然界不是十分对称的表现的问题，有破损的对称性中这两者的结合，是最有趣的观念。但是这个观念的细节尚待弄清楚。我相信，将来我们能有一个很有趣的时期。

米协尔：

你谈到 CPT 对称，这个对称目前还没有被破坏，每一个人都相信存在 CPT 对称性。然而，你有一个问题：为什么我们周围仅仅是物质？如果你不想破坏 CPT 对称性，你必须考虑几步。如果你从一个许多人愿意要的电荷对称的大爆炸出发。萨哈罗夫(Sakharov)首先证明 CPT 不变性是怎样保持的，他从一个 C 对称的大爆炸出发，得到现在的物质比反物质多的世界。他是在1967 年做的这个工作，虽然他的文章超出这次会议的范围，但它仍然是历史，萨哈罗夫引入了一项，这项给出质子寿命为 10^{50}年。感谢规范理论，这个值降低了，现在可以用实验去检验它。在大

多数的大统一方案中，质子应该衰变。因此我们现在对重子荷守恒有疑问，但我们还不知道答案，最近，从类星体观察组来的费莱开(Fleche)和索里奥(Souriau)对于我们的宇宙提出了一个有说服力的模型。在这个模型中物质和反物质是对称的，但反物质离我们很远：比100亿光年远。

维格纳：

我想再发表些评论。我们都知道初始条件并不表示任何对称性，从某种意义上尽可能无规则。这边有安德逊博士(Anderson)，那边没有安德逊博士，于是问题出现了：初始条件与自然定律相分离(按照我的看法，这是牛顿最伟大的成就。)会被证明是绝对有效的吗？初始条件与自然定律之间的相互作用是后来在自然定律中某些对称性缺少的原因吗？按照因斯特·马赫(Ernst Mach)的观点，我们知道所有已知的物理学定律都是近似的，如果是这样，那么牛顿的初始条件与自然定律相分离的看法也是一种近似。你们知道，狄拉克提了这样一个建议，即电磁力与引力的比值依赖于宇宙密度，由于这个密度在减少，假定这个比值是时间不变的则自然定律是无效的。因此，这确实是可能的，即某些不变性的缺少是由于我们周围这个世界的对称性的缺少。

我想最好注意这样的可能性，即弱作用中缺少反射不变性是源于我们宇宙状态的不对称性。我想，我应该让大家注意这种可能性，尽管我不真正相信它。

山梤：

我想知道杨教授提的问题的答案，谁是“宇称”这个词的教父？

维格纳：

我不知道，这个词不是一个很重大的发明。

苏达山(E.C.G. Sudarshan):

我想对杨教授的叙述加一个评论:有这样一种情况,在这种情况里最大的宇称破坏增加了物理学中的和谐。只要把自由粒子作为基本单元,有质量的、自旋为 1/2 的粒子和无质量的、自旋为 1/2 的粒子是彭加勒群十分不同的实现。有质量的粒子属于有两个自旋态的不可约表示,但无质量的那个只有一个。1956 年的那个工作把最大的宇称破坏与二分量中微子理论相对立。但是马尔夏克(Marshak)和我通过分析弱作用的实验资料发现,仅仅是手征分量被包括进去,即使对有质量的场也是如此。在 1957 年的派都威尼斯(Padua Venice)会议上我们提出了这一点。对于自旋为 1/2 的场,在反对易规则手征……不耦合。(原文如此,译者)因此合适的观点是在动力学中包括粒子的质量(相互作用……)(原文如此,译者)这强调,关于手征分量我们做的事在超子非轻子衰变中证明是正确的;并且在有 $SU(3)\times SU(2)\times SU(1)$的标准模型中和在大统一理论中,它是绝对本质性的。因此一般地,我希望在发展弱作用和粒子物理中强调看见手征分量和手征性的重要性。

泰勒格第(V. Telegdi):

(1) 关于柯克斯的实验,我不认为这个实验结果是可靠的,注意到年份为 1928 是有趣的。自旋是一个新的牌号,莫特(Mott)的文章还没有出现。柯克斯的想法是去做一个与光学中麦拉斯(Malus)著名实验类似的实验。麦拉斯的实验对确定光的“自旋”贡献很大。麦拉斯在光学中引入了一个词“极化”。

(2) 当宣布了宇称不守恒之后,我们提出去研究极化中子的衰变。在阿贡(Argonne)这是可以做到的,这方面的大专家是雷恩格(R. Ringo)博士。当我们和他讨论事情时,他说,在罗伯逊(Robson)的中子(不极化)实验之后,他提出过我们想做的实

验，但是阿贡的高级理论家与他们谈话说，宇称守恒没有新的可观察效应会出现!!

尼曼(Y. Ne'eman)：

(1) 对于初始条件(维格纳教授的意见)——人们感到惊奇的是，为什么宇宙那么对称。

(2) 关于对称性及杨振宁教授的透明片中提到的对群论的不喜欢，透明片取材于韦耳的书(群论瘟病)。对称，因为它对应于普遍化和对"特殊情况"的排除，所以对称是在科学的本性中。例如，"所有的方向应该是相似的"。因此群论应该从一开始就进来。然而，每一代人都总是不喜欢新的数学，因此在开始时，群论倾向于被拒绝。

米协尔：

我想对维格纳教授所说的做些评论。我同意把初始条件从自然定律中区分出来是牛顿做的一件伟大事情。但是物理学的问题变化了，太阳系的起源是另一个物理学问题，拉普拉斯(Laplace)为它担忧过。因此你所称呼的初始条件后来成为一个物理问题，现在，我想说，你可以把大爆炸考虑为初始条件，但对我们大多数人来说，它的历史是一个物理问题。

维格纳：

但是没有一个大爆炸的理论解释坐在这里第一排的人数。大爆炸太复杂了，并且肯定它没有任何对称性。作为一个结果，如果我们不相信初始条件与自然定律的分离，则将没有真正的对称性存在。这完全是可能的。

米协尔：

我想问一下杨教授：我清楚地记得我在西雅图听杨教授报告时的情景，杨教授报告的是关于宇称破坏，维格纳教授在房间中问他问题。我记得你谈的就是宇称，那时我已读过你的预印本，

并且清楚地记得预印本的细节。但是维格纳教授问你一个问题："你怎样选择去破坏宇称?"你没有理解这个问题，维格纳又以他的稍稍特别的方式再一次问这个问题，你说："你看，我有一个问题要解决，我要找一个出口。你在一个有多种不同门的房间内，你尝试不同的门，最后……"维格纳教授告诉你："现在我知道破坏宇称的七种方法，你选择那一种?"你没有回答。这表明在那时你的想法还没有真正透彻形成。

杨振宁：

我清楚地记得西雅图会议。我讨论了宇称不守恒，我也讨论了宇称二重态的可能性。我也记得维格纳教授问我的一般性的问题，我不记得维格纳那时说过有许多破坏宇称的方法，但我确实记得下面的事。我的确说过情形是很令人困惑的，我愿把我们的情形比做一个处于黑房间中的人。我们知道有一个走出这个黑房间的方法，但是我们不知道沿那一个方向去寻找，因此，我们必须探查所有的可能性。我愿坦率地对在座的听众说：在那时我并没有把宝押在宇称不守恒上，李也没有将宝押在宇称不守恒上。我不认为有任何人真正把宝押在宇称不守恒上。我不知道泰勒格第那时怎么想，但吴小姐(指吴健雄——译者)那时想，即便结果没有给出宇称不守恒，它仍然是一个好的实验。应该做这个实验，因为先前的 β 衰变没有产生任何关于右—左对称的信息。

一位卓越的俄罗斯物理学家告诉我，朗道(Landau)不相信宇称不守恒，事实上 1956 年 10 月在苏联召开的一次会议上他很强硬地说，这是绝对无意义的。但在实验完成之前，朗道显然改变了主意，他感到可能有宇称不守恒。为什么大多数人不要它? 我想过这个问题，我认为只有一个结论：这就是我们大家喜欢有更多的对称性。

蒂欧姆诺(J. Tiomno):

我想问杨教授一个问题,关于费米对空间反射的意见,因为他写过一个人们认为是错的表达式,它在一项中有:γ_μ(核子流),阶次是 $\gamma^5\gamma_\mu(e-\nu$ 流)。我们现在知道,长期以来,在反射中,对 ν-相位选择方便的标量,但是在那时人们认为应当是一个赝标量。有一次我听到费米对这个批评的回答,他说他不相信空间反射不变性定律应该适用于所有的物理。我想知道这是否正确。

杨振宁:

这是不正确的,至少我没有这个印象。作为一名研究生和年轻的讲师我与费米在芝加哥有很多接触。通过与他讨论我知道他对宇称守恒特别感兴趣,对此我不知道有什么特别的原因。

在 1950 年在你和我写了关于自旋 1/2 的粒子在空间反射下的可能的相因子的文章后,在芝加哥举行了一次会议。我想是 1951 年,费米对我们的文章有很强的兴趣。因此他安排了一个专题会议来讨论这篇文章,他明确地要求讨论这个问题:我们提议可能实验表现是什么? 你和我在 1950 年写的这篇文章对 1956 年宇称的工作很有用,因为耦合 C 和 C' 是直接从 1950 年文章中拿来的,它立刻自动地进入了。

蒂欧姆诺:

在这种情形下,我想对下面的事实作一些评论,李、杨给出这个结果确实是大胆的一步,因为那时每一个人都十分相信宇称守恒。我记得在普林斯顿,我在维格纳教授指导下做关于中微子和双 β 衰变理论的博士论文,这个工作是去检验可能的狄拉克场的投影算符。文中有一个注解说,我没有用有 $\nu(1\pm\gamma^5)\nu$ 的投影算符,因为它们显然是错的。我肯定,事实上对这件事维格纳没有作出像其他人那样的反应,他甚至不感兴趣,在那样一个 β 衰变理论中没有满意的可观察的效应。

阿马尔第：

30 年代初在罗马，有一个人对群论确实很感兴趣，他就是麦杰拉纳。他研究了韦耳的书，认为它是最好的较深入的关于量子力学的书。有一次他提到已经开始写一本关于群论的书，但在他失踪后，没有人发现任何可以被认为是那样一本书的草稿或部分手稿。

米协尔：

我想问维格纳教授最后一个问题。我们正在讨论一些概念，但是超选择规则是一个我们还没有接触到的概念。按照字母顺序，威克(Wick)、魏特曼(Wightman)和维格纳写了一篇关于超选择的文章〔Phys. Rev. 88(1952)101〕在这篇文章的注解 9 中他们写道，他们准备相信分立对称不会是严格的，这与你所说的不同。在这个注解中你给了一个例子：P 和 C 可能被破坏；但 PC 是守恒的。(在会后加上准确的引文："C 是一个严格的对称，这是远没有证明的。扰动可能保持 C 和 P 仅仅是近似的定律，而 CP 是仅有的严格的对称定律……")

维格纳：

我应回答什么？

米协尔：

你是否与威克和魏特曼在你们的文章的注解中做了这样的评论？

维格纳：

你知道，我不记得这个注解。

杨振宁：

你说过，C 和 P 可能被破坏。

米协尔：

你选用了这个例子。

维格纳：

是的，它们被破坏了。

米协尔：

因此，维格纳教授和威克、魏特曼，你们在 1952 年在一条注解中说过它。

科学人才的志趣、风格及其他

——在美国和复旦大学倪光炯教授的谈话

本文作者倪光炯，原载中国《百科知识》，1987年第1、2期。原标题为《杨振宁教授一席谈》。本标题为编者所改。

1982年10月，我在美国伊州大学(UIUC)做研究工作一年多之后，承蒙杨振宁教授的邀请和安排，有机会到纽约州立大学石溪分校作为期半月的访问。我此行除了向杨先生和那里理论物理研究所的同行学习和交流之外，还有一个目的，就是进一步了解杨先生的生平和学术观点，以便为大百科全书撰写关于他的条目作参考。我向杨先生提出了请他作录音谈话的建议，他欣然同意了。于是在10月13日和21日，采取由我提问题和他回答的方式谈了两次。下面是根据录音整理的记录。

倪：我很高兴有机会跟杨先生谈一下，我想了解您年轻时在西南联大和做研究生阶段的二三个工作。看来这些工作对您发现宇称不守恒以后的工作有直接的影响。您自己说，您认为自己的重要工作集中在对称性原理和统计力学的研究上，这跟在吴大猷先生和王竹溪先生指导下当时做的两篇文章有联系。这个问题是不是可以请您讲得稍为详细些。

杨：我想每个人所做的研究工作，总体地讲起来，都会有几

个主体的方向。我自己主体的方向是通过对于对称性原理及统计力学跟多体问题的兴趣方向而引导出来的。这两个方向，我在很早时候就注意到了，我所以发生兴趣，是起源于我在西南联大所写的两篇论文。第一篇是吴大猷先生指导之下所作的学士论文《关于分子光谱学与对称原理》，另外一篇是我在清华研究院，在王竹溪先生指导之下写的《关于 Order-Disorder 转变》（有序—无序的转变）这样一篇论文。这两篇论文对我后来的兴趣方向有决定性的影响。吴先生指导的论文引导我对于对称性原理的兴趣以及从群论到对称性原理上所得到的物理学跟数学的结论，这个对我的影响非常之大。王先生的指导虽然使我对相变发生了浓厚的兴趣，但好久没有什么成果可以报告。1951 年夏天，我才做出了我离开中国后所写的第一篇这方面的文章。自那以后，对统计力学、多体问题方面，我写过很多文章，现在我还对这方面的工作很感兴趣。

倪：谢谢。杨先生，我觉得您早期的工作对后来的工作确实有相当直接的影响，也包括您另外两篇文章，比如您也谈到关于核反应的角分布工作后来跟宇称不守恒工作也发生直接联系。从这一点看，我认为这是一个科学家成长过程中早期的影响问题。当然，当时还不是很自觉地向那个方向走，但后来常常会在很重要的工作中产生影响，这好像有一定的规律性，从您身上或者其他科学家身上都能看到这样的现象。所以我想在培养青年物理学工作者中间，这里要考虑一个很重要的因素，就是开头要开得好。是不是这样？

杨：我想，主体讲起来，这是一个正确的看法。一个人喜欢考虑什么问题，喜欢用什么方法来考虑问题，这都是通过训练得出的思想方法，这一点我想与早期训练确实有很密切的关系。为什么这样？心理学家也并不见得有完全了解。不过我觉得有一

个很好的例子：一个人小时候喜欢吃的东西，在成人甚至到老年时候，还是很喜欢吃。有时这个喜欢是讲不出道理来的，因为在他最早成长时候的喜爱跟不喜爱的东西，大概对他的下意识有很重要的影响。

一个人在刚接触到物理学的时候，他所接触的方向及其思考的方法，与他自己过去的训练和他的个性结合在一起，会造成一个英文叫做 taste，这对他将来的工作会有十分重要的影响，也许可以说是有决定性的影响。当然，还有许多别的重要的因素在里头，比如说机会也是一个非常重要的因素。一个人的 taste 再好，如果他没有碰到一个外在的机会，他不见得能够走到一个正确的道路上去。不过，同时都走到一类道路上去的人，后来所做出来的结果往往又是很不一样的，这个不一样其分歧的基本道理，我觉得就是刚才所讲的 taste，而这个 taste 的成长基本上是在早年。我认为一个人的幼年跟青年以及与他刚跟这个学科接触的时候所学到的知识恐怕是决定 taste 的基本因素。这个很有意思的问题，至今我还没有看见心理学家或生理学家对它进行过分析。

倪：这个问题我想跟普通人的性格形成联系起来。我们常常感觉到一个人性格形成得比较早，肯定决不会在他 30 岁以后。因此，我在想您讲的 taste 这个词该怎么翻译？爱好、嗜好都不一定很恰当，不过这是一个很重要的词。您还讲到 style，是否可以这样理解：taste 形成要早一些，style 要更成熟些以后慢慢形成，而这里面又有一定联系。所以，在这问题上又不同于另外一些词，比如与常常讨论的物理上的直觉（intuition）也不完全一样。taste 这个词恰好描绘了您刚才所讲的在科学上从一个还懂得不多到后来慢慢成熟起来的阶段上所形成的一种科学性格。

杨：不错，taste 跟 style 是有很密切关系的。style 在中国叫风格，taste 我倒不知道该怎么译法，有人把它译为品味，不过我

想这不见得是最正确的翻译。我同意你刚才的讲法，taste 的形成比 style 要稍微早一点，往往在自己还没有做研究工作的时候就已经有 taste 了。比如说一个收集古画的人，他有 taste，可是他不大可能有 style，假如他后来自己也画画，那么他就可以有他自己的风格。当然，一个人的 taste 肯定要影响到他后来的风格，不过这两个是不一样的观念。

taste 确实是非常重要的，我可以从下面这个例子讲一下我对于这方面的意见。在最近几年之内，我们学校里有过好几个非常年轻、聪明的学生，其中有一位到我们这儿来请求进研究院，那时他才 15 岁的样子，后来他到 Princeton 去了。我跟他谈话以后，对于他前途的发展觉得不是那么最乐观。我的看法对不对，现在我不知道，因为他到 Princeton 去以后的情况我现在不清楚。我为什么对他的发展不太乐观呢？他虽然很聪明，比如说我问他几个量子力学的问题，他都会回答，但我问他：这些量子力学问题，哪一个你觉得是妙的？然而他却讲不出来。对他讲起来，整个量子力学就像是茫茫一片。我对于他的看法是：尽管他吸收了很多东西，可是他没有发展成一个 taste。这就是我所以觉得他的前途发展不能采取最乐观态度的基本道理。因为学一个东西不只是要学到一些知识，学到一些技术上面的特别的方法，而是更要对它的意义有一些了解，有一些欣赏。假如一个人在学了量子力学以后，他不觉得其中有的东西是重要的，有的东西是美妙的，有的东西是值得跟人辩论得面红耳赤而不放手的，那我觉得他对这个东西并没有学进去。他只是学了很多可以参加考试得很好分数的知识，这不是真正做学问的精神。他没有把问题里面基本的价值掌握住。学一个学科，不只是物理学，不但要掌握住它们里面的知识、定理和公理，更要掌握住这些知识、定理和公理的意义、精神及其重要性，等到你觉得这些东西重要到一个程度

时，你才是真正把这些东西吸收进去了。我想一个思考比较成熟的、念得很好的学生，如果能够在一个早的时候接触到一些风格比较合适或者是比较重要的文章，并吸收了它们的精神，这对他将来选择正确的问题和正确地解决问题的方法会是有很大帮助的。

倪：杨先生讲的这些见解我觉得都很重要，对以后我们自己学习和培养青年有很重要的指导意义。您已经讲了多次，我们中国现在的大学教育有很多优点，但也有缺点：如把它与美国教育加以比较，就是我们比较注意学生吸收已有的知识，而不注重引导他们提出自己的看法，因而这些学生在以后进入研究的时候，始终是处于一种比较胆怯的状态，没有足够的勇气，总觉得基础好像是永远打不完似的。我自己也有过这样一段时间。现在觉得自己还很差，不过现在已开始懂得，做研究跟学习已有的知识不完全是一回事。我是否可以这样理解：杨先生刚才讲的一般地能够应付考试的知识，跟做研究时需要的"把刀磨快"，需要一种 working knowledge 并不是一回事，对于后者，在早期如果没有形成一种 taste，一种勇气，并且去做的话，时间长了以后这把刀会更钝的。

杨：是的，我同意。我想学好别人已经消化好了的知识，这当然是很重要的因素；但要使研究工作真正成功，最主要的还是在于把大家当时已有的知识和自己的见解，跟自己的 taste 结合起来，从而冒出新的方向来，这才是研究工作最重要的一点。

中国的教育方法代表了东方文化传统的教育特点，但它不应该成为新中国教育方法的特点。这种方法使学生容易产生相信"先贤"的看法，对先贤不敢持怀疑态度，或者觉得反正别人都已经做过了，我的目的只是去学习。这个态度有它的好处，比较谦虚，认为这种态度完全的坏是错误的。比如说，利用中国传统方

法训练出来的学生，不光从中国出来的，从日本、朝鲜、新加坡出来的学生，都是会考试的。会考试看来是一件占便宜的事情，一个人太学会了考试，老想考试要考得好，于是他就会产生一种观点：反正知识都是人家已经做好的，我就等着一个个地去学，而且应该不断学习别人所做的东西。至于他为什么要这样做？为什么别人这样做他也这样做？这类想法最终他好像也觉得不可思议。这样训练出来的学生，我想在研究工作的时候是要有一些困难的。

我想把两个办法折衷一下最好。在美国这儿训练，一般讲来，是注重培养思考新的办法。这个训练办法，对于大多数学生来说是不好的。按部就班地、一项项虚心地去学习，这样可以把许多有用的知识吸收进去。我觉得这对于大多数学生，也许是70%或者80%的学生，是比较好的一种训练方法，因为可以使这些人成才。美国很多学生进大学以后并没学到什么东西，他后来所做的事情跟他在大学里学的知识也没有多少关系。可是对于最后做研究工作的20%的人，就比按中国传统训练方法培养出来的人有优越性。中国传统方法造就的人胆子太小，随时都会觉得一切问题前人都已经做过了，我不应该也不必去做，或者不可能走出新的道路来。在这一点上我想是要吃亏的。

所以我想，你要问哪一种教育方法好，这个问题很难一概而论，要看你是在讨论哪一个学科或对哪一个学生才能做具体回答。虽然刚才我讲对绝大多数人美国的教育方法不是最好的，不过美国进大学的学生数目非常之多，所以结果还能有足够多的人学到足够多的东西，可以保障美国这个现代化的科技社会有相当数量的人去完成恰当的科技事业。

倪：您说过一句话，真正做研究工作的人实际上是从大量的人中间选拔出来的。这比例我初步了解一下，比如占美国研究生

中的几十分之一，而不是全部。这与中国现在的培养目的跟方法是有些不同的。您还说过，研究理论物理，兵在精而不在多。有时候我们自己也有些担心，在理论物理方面，我们有很多研究生，他们都很努力，都很用功，但从现代科学的要求来讲，最后总只能是少数人做出重要的工作。所以这个问题值得我们进一步考虑。

倪：杨先生，您是否可以谈一下您的家庭和童年，还有同杜先生的婚姻。

杨：我是1922年在安徽合肥出生的。我出生时我父亲正在那时候安徽省会怀宁县(就是现在的安庆市)的中学里教书，由于种种的不便，我母亲一直没有去怀宁，所以我出生的时候是在合肥。我的名字杨振宁这个“宁”字，使好多人猜测我是生长在南京，其实跟南京没有关系，是怀宁的宁。在我十个月大的时候，我父亲考取了那时候的安徽省公费，到美国去念研究院。他是在北京高师毕业的，后来在安庆教了几年中学。他觉得教了几年中学把大学所念的数学都忘记掉了，所以他在Stanford大学又进了一年四年级，一年以后他得到一个学士学位，然后就去了芝加哥大学，在那儿四年先后得了硕士跟博士学位。他研究的是数论方面的所谓堆垒数的问题。那个时候在芝加哥大学有好些中国的研究生。其中有周培源先生、吴有训先生，他们两位是念物理的，还有一位孙唐先生，也叫孙光远，是现在南京大学数学系教授(1984年逝世)，还有好多位就不一一列举了。我父亲1928年回到中国，之后我同父母搬到了厦门，我父亲在厦门大学教了一年书，1929年的时候我们又搬到北京(那时候叫北平)。我父亲被聘为清华大学数学系教授。1937年我在北平崇德中学刚念完高中一年级，七七事变发生了。于是，我们就先搬到合肥，后来经过汉口、广州、香港、海防、河内、河口到昆明。到昆明时正值1938年2月。在昆明我又在昆华中学念了半年，到1938年的夏天，我参

加了那时候的全国统一招考，考进了新成立的西南联大。西南联大是清华、北大、南开三个学校在昆明合起来组成的一个临时大学。在长沙的时候，它叫临时大学，搬到昆明以后才改名西南联合大学。我在西南联大念了 4 年，1942 年获得学士学位。1942 年到 1944 年，我又进了清华研究院，并得到硕士学位。1944 年到 1945 年间，我在西南联大附属中学教了一年数学，就是这个时候我认识了杜致礼，她是那时我所教班的一个学生。那个班是高中二年级。我教了两班学生的数学，一班是高中二年级，另一班是高中一年级。高中二年级这一班有好几个学生，后来都成为大家熟知的人了。一个是《红岩》的作者之一罗广斌。我记得很清楚，这个学生算学不是最好，也不喜欢多讲话。记得在香港我第一次（文革的时候）看到红岩书的时候才发现作者中有罗广斌的名字，当时觉得他跟我的一个学生的名字一样，可并没料到他原来就是我教过的罗广斌。另一个是闻立鹤，他是闻一多先生的大儿子，闻先生被特务枪杀的时候，为保护他的父亲他还受了一点伤。不幸，听说他去年突然得病死了，好像是在天津到北京的火车上。我是在 1945 的夏天离开中国经过印度到美国来的。我想这就是我在中国头二十几年生活的大概过程。

到美国以后，我 1946 年初进芝加哥大学，1948 年夏得到博士学位，然后在芝加哥大学做了一年的 Instructor（讲师）。1949 年到 Princeton 的 Institute for Advanced Study（高等学术研究所），前后共待了 17 年。1966 年从 Princeton 搬到这儿来，现在也有 16 年了。

倪：您在芝加哥大学做研究生时，好像关于您的 advisor（导师）有两种说法：一个说法是 Fermi，一个说法是 Teller，我想这都太过于简化了，可否请您谈谈他们两位对您都有什么影响。

杨：Teller（泰勒）和 Fermi（费米）在芝加哥对我的影响都是

很大的。我在刚去的时候，本来希望跟 Fermi 做实验研究工作。因为我在中国做学生的时候，总觉得没有动手的机会，而物理学是一门实验科学，所以下了决心到美国后要写一个实验的论文。我一到芝加哥就去找了 Fermi。不过，那时 Fermi 正在阿贡(Argonne)国立实验室做实验，而那时在阿贡实验室里做实验需要美国公民的身份。而我当时不具备这个条件。后来，Teller 来了。于是，我就跟他做了一些理论工作，前后共做了三四个题目。我跟 Teller 那个时期所做的题目都没有写下来发表，不过却跟他学了很多东西，因为他的物理是跟书本上的很不一样。比如说，他对于对称原理跟角动量之间的关系非常的熟悉，又是一个直觉的了解。所以，通过跟他进行交谈和辩论，不需要几个礼拜就能够了解到他对于物理的了解的办法：哪些东西是应该注意的，哪些东西是可以不注意的。我刚才对你说，我跟吴先生做学士论文时写了一篇关于分子光谱和群论关系的文章，那是我被引导到这个领域的开端，所以我对于分子光谱跟群的表现(示)都有一些了解。不过，跟 Teller 接触后，我学到了比较注重数学跟物理的关系的精神，而比较不注重数学跟物理的关系的细节。从书本上一篇篇、一页页地念出来的知识，一个定理、一个定理念出来的知识，先要有个定理，后来有个证明，这是一种念法。而 Teller 是不大注意证明的，他的想法是比较直觉的，有时他的直觉结果也不全是对的，而且他对一些直觉结果也不能够证明。不过，他的好处是触角伸得非常之远，往往在没看清一个东西的时候就抓住了它的精神，然后再想办法把中间的路连起来。虽然中间的路不见得每次都能连得起来，但是你如果不去伸那个触角，你就永远走不远。他的这种比较着重直觉了解，比较着重数学跟物理之间关系的直觉观念，比较不注意证明的这种精神，是在我跟他接触时获取到的一个收获。然而，我却又觉得有两件事情得要齐头并

进:就是证明是有用的;直觉也要发展。当这两件事情结合得很好的时候,对于这个学科就可以掌握得多一些。

1946 年的秋天,在芝加哥我有一个机会可以在 Allison(艾里逊)的实验室里做实验。那时 Allison 是一个做低能核物理的实验教授,他要做一个 400kv(四十万电子伏特)的 Cockcroft-Walton 小加速器,我参与了他的工作组。我们花了差不多一年半的时间把加速器建设起来了,以后便在上面做实验。差不多从 1946 年底到 1948 年初,我主要是在做这些事情。

不过,那时我还做一些理论工作,包括关于角分布函数与角动量之间关系的一些定理,在这方面我把写出的文章拿给 Teller 看,他觉得很好,并在上面提了一些增加关于 relativistic(相对论性)补充的建议。这个论文写好之后,1948 年春的某一天 Teller 跟我说:你为什么不用这篇文章做你的论文?因为你现在的实验并不太成功。他说:你把这个做成论文,我就变成你的导师,你就可以得到博士学位了。我刚一听见他的建议时候有点失望,因为这与我当初的计划是不一样的 。不过,我想了两天以后,觉得这个建议是对的,所以就接受了。这就是我后来又抛弃了实验物理,重新回到理论物理工作的经过情形。

我在 Allison 实验室的那一段时间,跟 Teller 还是保持着相当密切的联系,比如 Teller 每个礼拜跟他的研究生一块儿吃一顿午饭,讨论他们的问题,我通常还是参加的。这时,我跟 Fermi 也很熟了。我在 1961—1962 年的时候曾写过一篇很短的文章,内容是关于我在芝加哥大学念书的时候怎么样受到 Fermi 的影响,以及他对芝加哥大学所有的研究生有什么影响的一些描述。1948 年到 1949 年,我在该校物理系做 Instructor 的时候,跟 Fermi 的关系更密切了,因为我们的办公室离得很近,所以经常在一起讨论问题。1949 年夏天,我跟他合写了一篇关于介子是否可

能是质子跟反质子的复合态这样一个问题的文章。

总的讲起来，我在芝加哥大学的时候接触最多的三个物理方面的教授是 Fermi、Teller 跟 Allison，我从他们三个人所学到的东西不一样，不过都对我是很有用的。

倪：谢谢。这个问题本来不大清楚，现在清楚多了。杨先生，是否可以请您谈一下宇称不守恒发现的前后经过情形？

杨：在 1955 年和 1956 年的时候，宇称不守恒这个问题变成了一个大家比较注意的问题，原因是那时候有所谓的 $\theta—\tau$ Puzzle(谜)。这个问题讲起来比较长：第一，它的来源由来已久，而且 1956 年李政道同我在这方面做研究工作的时候也有很多转折。关于这方面最近我写了一个选集跟后记，明年春天出版，那个上面讲得比较详细。我想就不把那个上面的经过现在再讲给你听，很快你就会看见出版的书上是怎么讲的。不过，我可以补充一点，就是一个人所做的每一件工作，它的来源基本上是与他过去所学到的知识，所认识的东西，有很密切的关系。宇称不守恒这件事情当时是从 $\theta—\tau$ Puzzle 来的，是从 τ 跟 θ 的衰变，也就是从当时的所谓奇异粒子的衰变现象来的。可是，后来做实验的时候是通过 β 衰变，这是吴健雄跟四个标准局的物理学家合作最先发现的。他们这个发现是第二次世界大战以来物理学中最重要的发现之一。那么，怎么从一个 $\theta—\tau$ Puzzle，忽然一改就跑到了 β 衰变？这个经过，我想一方面是因为当时大家已经有一个认识：不同的弱相互作用，包括 β 衰变与 θ 跟 τ 的衰变，都有一些共同的地方。这是从 1948—1949 年开始新发展出来的一个普遍的想法。另一方面也是因为 β 衰变这件事情，我在开始做论文时就对它非常注意，以后我虽然没有发表过很多关于 β 衰变的文章，可是对于 β 衰变的现象以及它的理论，在 40 年代末跟 50 年代初我是经常注意的。这与后来李政道同我共同提出 β 衰

变的实验是有密切关系的。我想一个人的所有工作,都与他过去所接触的方向、所接触的风格有极为密切关系的。我把这一点提出来给你作一些补充。

倪:谢谢。杨先生,您在 1954 年做了一个很重要的工作,就是 Yang-Mills 场,这是非阿贝尔规范场的开端。请您谈一谈这篇文章的酝酿和发表以及二十多年来它对高能理论的深远影响?还请您谈谈高能基本理论在研究方法上有哪些特点。

杨:我先谈一下你刚才所提的前一半问题,后面的问题比较困难回答,我们谈谈再讲好了。

关于规范场的想法,我在做研究生的时候就有过,我当时觉得:Weyl 对于电磁场的规范的想法,早在 1929 年的时候大家已经知道了。既然通过这种思想可以引导出来 Maxwell 方程式,那么通过这种想法也能引导出来各种不同有电荷的场跟电磁场之间的相互作用。我想把这个原则给予推广,但这种推广有一定困难,所以每一次尝试都不能够成功。不过,这种想法我一直觉得很好,那时每过半年或一年就重新推广一次,碰到了困难再来,如此反覆很多次。1954 年我到了 Brookhaven(布鲁克海文国立实验室),与 Mills 同一个办公室。那时候新的粒子发现非常之多,所以我觉得更应该要有一个各种粒子相互作用的基本原则,我们在这方面又做了些工作,后来就写出了这篇文章。

这个文章刚写出来时很少有人注意。我记得这篇文章写出来后只有一个地方请我去演讲,希望我报告这篇文章,就是(普林斯顿的)高等学术研究所,因为当时 Pauli 在那儿,他对这很发生兴趣,他让 Oppenheimer 请我到研究院去讲这篇东西。另外,关于这个内容我在哈佛(大学)曾经做过一次演讲,不过这并不是他们指定的题目,是我主动要讲的。除此之处,在我印象之中就再没有一个学校请我去讲有关推广规范场的题目了。现在想起来

也并不稀奇，因为那时对这事情觉得有兴趣的人确实几乎没有，我想恐怕 Pauli 是唯一发生兴趣的人。

到了 50 年代末，对于非阿贝尔规范场这个想法的妙处认识的人渐渐多起来了，所以从这时候开始到 60 年代中期，就写出了很多的文章。到了 70 年代初，通过 t'Hooft 证明，非阿贝尔规范场是可以重整化的，后来又通过 Glashow—Weinberg—Salam 模型的成功，以及目前色动力学的许多发展，现在大家几乎是没有例外地相信，所有的相互作用都是规范场。

我深信，从这个发展里面我们得到的结论应该是一个基本的原则，这个基本原则我曾经把它叫作"Symmetry dictates interaction"，就是"对称原理决定相互作用"，它决定物理世界里头的一切相互作用。我想这个原理基本上是对的，我在一篇文章中指出，这个原理第一个应用的人是爱因斯坦，他在广义相对论中应用了这个原理，而非阿贝尔规范场可说是以后的一个应用。

你刚才问我，自发破缺跟对称原理有什么关系？我想这是一个很妙的关系。因为 50 年代、60 年代的时候对称原理也许用得太多了，于是就想跟实验发生关系，这样立刻就会发生困难，因为我们看到的宇宙没有那么多的对称。这里一个新的基本想法是 Broken Symmetry（倪：对称性自发破缺），自发破缺，不过自发破缺也许叫 Spontaneous symmetry breaking，这个名词有时候用得有些混乱。总而言之，就是把一个更对称的想法加上一个 Broken Symmetry，这样就可以有对称的好处，又可以有不对称的效果，这也就是大家今天所以对 Glashow—Weinberg—Salam 模型都非常热衷的道理之一。

我觉得 Broken Symmetry 的基本想法是很好的。不过，目前很难使我相信 G-W-S 模型里面把 Broken Symmetry 付诸实现的办法是最后的一个想法。在我的选集和后记里面，我把这个

模型的成功比喻成也许像 Fermi 的 β 衰变理论。Fermi 的 β 衰变理论是不是一个非常重要的理论呢？当然是。但 Fermi 的 β 衰变理论是不是一个最后的理论呢？我想现在大家会一致承认它不是一个最后的理论。所以，我觉得自发破缺跟规范场这两个基本观念是会有长远的价值；而通过 Higgs 方法来制造 Broken Symmetry，我相信将来会有新的发展。

总而言之，我相信刚才我讲的"Symmetry dictates interaction"这个观念，也许可以说是这几十年来物理学发展中得出来的中心题目(倪：基本经验)，一个基本经验。不过，我不相信我们现在所了解的这句话的意义就是最后的意义。因为我觉得自发破缺通过 Higgs mechanism(机制)恐怕不是一个最后的"故事"。关于我们现在对于对称原理的了解，如果从历史的观点讲起来，跟我在做研究生的时候对于对称观念的了解已经大不一样了。我在做研究生的时候就已经讨论对称了。比如说用了群论，可是那时的用法跟今天的用法是在不同的层次上。我相信，这个发展就是对称原理在物理学中一天天通过新的了解占更重要地位的最好说明。我还相信，这个发展到今天还并没有停止。我这话的意思，也许一些现在的物理学家不会同意，不过，我深信我这个看法恐怕是对的。我们今天虽然比以前对于对称的地位有了个比较深刻的认识，但我相信这还不是最后的。比如说，现在大家很热衷的，许多人做了很多工作的，关于玻色子跟费米子之间的对称，叫作超对称，这到现在为止还没有真正应用。这一类把对称原理继续推广下去的想法，我深信将是 80 年代、90 年代、或者是 21 世纪理论方面的重要发展方向。所以，我觉得"Symmetry dictates interaction"这句话，不但今天重要，以后三五十年之内还是重要。不过 Symmetry 这个字到底怎么解释法，我相信在里头还要有新的花样。

倪：这是一个很重要的观点，我很高兴能够亲耳听到杨先生这个观点，我要继续学习这个问题。谢谢杨先生。

后　记

最后我想补充两点：

(1) 近二三年内凝聚态物理有一个重要发展，即实验上发现了意想不到的五度对称性，相应的理论解释确实拓广了过去固体中的对称性观念。所以，我认为杨先生的最后一句话是很有预见性的。

(2) 上海《自然》杂志1986年九卷七期载有《点燃智慧之火——记杨振宁教授》(碧青、安泰)一文，请读者参阅。那里提到“现在国内外许多科学家认为杨振宁该获第二次诺贝尔物理学奖”，我看到Teller教授给杨先生60岁生日的祝贺电报中就是这么说的，最近新加坡的潘国驹先生也在报上专门撰文论证，我相信这件事情的可能性是很大的。

自旋(1982)

本文原载 Chen Ning Yang: The Spin. Published in AIP Conference Proceedings #95 High Energy Spin Physics—1982, P1, ed. Gerry M. Bunce (1983). 中译文载《杨振宁谈科学发展》,八方文化企业公司,1992年。译者张美曼。

我想谈一些关于自旋这个概念的历史,当我们在物理里面做了一段工作后,有这样一种倾向,即忘掉了我们正在研究着的事物的全面的含义。对远景的洞察被淹没在本底之中,我们可能对先前的重要的问题变得盲无远见。由于这个缘故,让我们简单地回顾一下,自旋是怎样成为物理的一部分的。

自旋这个概念既迷人又十分困难,就其根基而言,它与物理学的三个方面有关。第一是经典的旋转的概念;第二是角动量量子化;第三是相对论。所有这些概念是我们对自旋这个概念早期理解的基础,但在那时并没有清晰地意识到这一点。

第一个提出可能存在自旋的人是康普顿(A. H. Compton)[①]。在1921年,当他认为电子是一个围绕着一条轴线快速旋转的有几何大小的客体时,就提出了存在自旋的可能性。然而,这个思想并没有引起重要的发展。在1919—1925年间,对称之为反常塞曼(Zeeman)效应和多重谱结构理论的混乱的研究则是一个完全不同的开端。这项研究使许多科学家彼此反对、争论,在1925

年初,泡利(Pauli)提出了他著名的有四个量子数的不相容原理,其中之一是时髦的新的变量自旋 m_s。然而泡利不相信这第四个量子数具有古典力学的解释,它被认为是“非力学应力(Zwang)”的反映。

在1925年10月17日乌伦拜克(Uhlenbeck)和戈特斯密特(Goudsmit)向名为“The Naturwissenschaften”的杂志提交了一篇文章[②],在这篇文章中他们提议用电子的内部自由度来解释“非力学应力”,这个内部自由度就是自旋。泡利一点也不喜欢这个建议,因为他已经相信这第四个量子数表现了一个“非经典的双值性”,在他20年后的诺贝尔讲演中,泡利回忆道[③]:

> 起初,由于它的古典力学的特点,我强烈地怀疑这个思想的正确性。

后来,托马斯(Thomas)的文章出来了,对于自旋轨道耦合,它给了因子2一个漂亮的解释。1926年3月,泡利“完全投降了”[④]。

自旋和不相容原理,对另一个重大的概念性的发展也很重要:置换对称和统计。在这个方向上费米(Fermi)的工作是最早的。他所关心的不是能谱学的“动物学”(Zoology)这个领域,而是统计力学。拉赛第(Rasetti)这样描写道:[⑤]

> 他一听到泡利不相容原理的文章,立刻意识到他现在具有了建立理想气体理论所需要的所有的基本元素,这种理想气体,在绝对零度时将服从内恩斯特(Nernst)定理,并且在低密度和高温的极限下,给出关于绝对熵的正确的萨克—泰屈罗(Sackur-Tetrode)公式,而且与各种任意的假设无关。在这之前,为了要得到这样正确的熵值必须把这些任意的假设引进统计力学。

费米的文章是1926年2月7日提交的。相隔仅几个月后,从完

全不同的问题入手，狄拉克(Dirac)发现了薛定谔波函数，它可以是对称的或反对称的，这是一个有影响的新概念，并因此对粒子进行计算时需分别用不同的统计力学[6]。从这些考虑出发，发展出了玻色(Bose)—爱因斯坦(Einstein)统计和费米(Fermi)—狄拉克统计的概念。

有关波函数对称性概念的第三条线索贯穿在正氦和反氦的问题中，这个问题是海森堡(W. Heisenberg)在1926年春解决的[7]。他通过对系统轨道波函数的对称性质的研究，发现两个电子的总自旋对于氦原子的能量有很大的影响。

大约在1927年初，作为描写电子和解释周期表的基本概念，自旋及与它相联系的磁矩被人们完全接受，一个完整的原子和分子结构理论的新纪元开始了。物理学家有理由因所有这些基本的发展而感到满足。但是狄拉克不是这样，他把注意力集中在相对论性的电子理论上，并且写下了漂亮的狄拉克方程[8]。这个方程显示了自旋是荷电粒子相对性理论的固有特征，多么高的想象力、多么深的洞察力。

然而，狄拉克方程被负能量态的困难所困扰，基于对美的形式的特有的信仰，狄拉克大胆地进一步提出了无穷大电子海的思想[9]，这个概念改变了物理学家对于真空的真实结构的理解，如果你以为狄拉克很容易地使其他科学家信服他的大胆思想，那就错了。他没能这样做，他遭到了许多杰出的科学家的反对[10]，其中包括玻尔、泡利、朗道(Landau)和佩尔斯(Peierls)。

慢慢地，这些反对消散了。实验中正电子的发现、电子对的产生和湮灭的发现、及在理论的研究中发现与其它理论相比空穴理论使发散不那么强烈，所有这些发现导致狄拉克理论被普遍接受。随着电荷共轭不变的公式化、兰姆移动和电子反常磁矩及重整化理论的发现，狄拉克理论成为物理学永恒的一部分。

但是，我们是否听到了关于自旋的最终描述了呢？我相信不是这样，让我举三个理由来说明这个看法。首先我认为我们目前对场论的了解似乎还没有到最终阶段，我们关于重整化的见解很难使人感到满意，再则，附加对称的概念是必须的吗？是拓扑结构吗？我们不知道。然而，任何附加的概念必定与时空纠缠在一起，因而也与自旋纠缠在一起。第二，我们不了解为什么存在 μ 介子和 τ 介子，它们的存在也许与自旋的概念毫无关系，也许与自旋的概念有很深的关系，我们并不知道。第三，也是最重要的，我们至今还有一个有关旋转着的电子的广义相对论理论。至少，我怀疑[11]自旋和广义相对论是非常深地、以一种微妙的方式牵连在一起的，而这个方式我们现在还不了解。

在 1925 年 11 月 24 日，在收到乌伦拜克和戈特斯密特的文章后，海森堡在给泡利的信中写道[12]：

> 当然，如果电子只具有电荷和质量而不具有角动量，事情就简单得多；虽然从原则上来说，人们不能争辩着来反对角动量，但这种思想，即电子具有结构（特别是认为存在几种类型的电子），我很嫌恶。

这都是半个世纪以前的事了。在这些年月间我们是否懂得足够了，可以去判断是否自旋是一种结构，是否存在几种类型的电子？

参考文献：

① 关于自旋概念的早期历史的详细情况，请阅 J. Mehra 和 H. Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, Volume 1 和 Volume 3。

② G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, Naturwiss. *13*, 953(1925); Nature *117*, 264(1926).

③ W. Pauli 的文章，刊载在 *Nobel Lectures Physics* 1942—1962 (Elsevier, 1964)。

④ 阅参考文献 1, Volume 3, p. 272(Pauli's letter to Bohr)。

⑤ F. Rasetti, in *The Collected Papers of Enrico Fermi* Volume 1, p. 178 (University of Chicago Press, 1962).

⑥ P. A. M. Dirac, in *History of Twentieth Century Physics*, Varenna Summer School (Academic Press, 1977).

⑦ 阅参考文献 1, Volume 3. § V.6.

⑧ P.A.M. Dirac, Proc. Roy. Soc. *117*, 610(1928).

⑨ 阅我的文章：See my paper "The Discrete Symmetries **P**, T and C" published in *Proceedings of the 1982 Paris Conference on the History of Physics*.

⑩ 阅 D.F. Moyer, Am. J. Phys. *49*, 944, 1055, 1120(1981) and A. Pais "Heisenberg and the Dirac Theory of the Electron" in *Collected Works of Werner Heisenberg*.

⑪ Chen Ning Yang, Phys. Rev. Letters *33*, 445(1974).

⑫ 阅参考文献 1, Volume 3, p. 200。

关于怎样学科学的一些意见

——对香港中学生的讲话(1983.2.19)

本文载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。由宁可译自英文原稿。

首先我想同大家讨论的是科学中的实验技能问题。对人类来说,科学毕竟有百分之九十是实验活动,科学的基础是实验。那些特别擅长动手的学生应该把这个作为自己的优势,因为他们凭这种本领往往超过他人,在某些适当的科学领域中做最有益和最重要的事情。让我强调一下,一个人的动手能力是一种天赋,因人迥异。我能给大家讲的最好的事例就是我和我的儿子。我的儿子现在是加利福尼亚伯克利分校搞实验化学的研究生。还在他上中学的时候就可以清楚地看到他将成为一名出色的实验家。当我们俩一起做一些具体工作时,我才清楚这一点。一天,我们停车房的门推手坏了,那时,我儿子将近15岁。于是我们俩爬上梯子想查看一下停车房顶部的装置哪里出了毛病。我们刚爬到那儿,他便说是一个小轮齿错位了。我问:"你怎么知道的?"他不能告诉我,只是耸了耸肩。但是我们在那个地方忙活了一阵就觉得修好了。这件事表现出他对小实验发明的知解力,而我却没有。我当然比他要老练多了,但是在这方面他更富有洞察力。他在数学方面不如我,而且也比不上在他那个年龄的我;可是他

显然具备其他天分，也正是因为如此，他今天成了一名实验化学家。

在我一生接触到的许多人中，我知道一些人非常善于动手，并对事物的来龙去脉有良好的直觉。我会鼓励你们，鼓励你们的家长和老师专门努力去挖掘和培养你们每个人所共有的这种才能。那些在这方面有才能的人，就是具备了能够在各种实验科学领域大显身手的优越素质。我之所以特别强调这一点是因为在香港这样深受中国传统文化影响的教育环境中，不重视这种特殊才能。我近些年多次访问中国大陆，我感到这个问题实际上也是许多中国内地教育工作者所关心的问题。你们大概知道中国内地的大学入学考试很难，在香港也难，只不过在中国内地就更难些，大约4%的青年人能进入大学。现在的考试，特别是中国的考试制度，或者说是在中国文化影响下的社会的考试制度，似乎要强调这样的准则，这样的准则是歧视那些特别擅长动手的人，而那些懂得怎样动手的人恰恰是中国最最需要的人才。中国也需要考试成绩好的人，但依我看，更需要那些能做事能立业的人才。

科学需要的通才的另一个特点是对诸如计算机程序设计这类事物有足够的兴趣。美国所有的大学教授都知道，在大学一年级的学生中，有些很有设计计算机程序的天赋。他们做事非常快，学得非常快，而且他们编写非常复杂的程序的能力是惊人的。这无疑是才能发展的一个新方向。随着计算机在社会中的作用日趋重要，这样的人才在将来会比过去10年有更多的大显身手的机会。

由于计算机的应用，许多新的科学分支应运而生。我仅举两个很简单的例子。一个是计算机断层照相术（Computerized tomography）。大家也许知道，七八年前塔夫特（Tufts）大学的一

位理论物理学教授因提出了制作 CAT 计算机轴向断层扫描仪(Computerized Axial Tomography)在理论上的可能性而获得了诺贝尔奖。现在这是一种被广泛应用的,很重要的医疗仪器。它利用 X 光和计算机程序,其想法如下:假定医生想要确定病人脑内某块肿瘤的位置。传统的办法是拍一张 X 光照片,它大致可以给出什么部位可能有肿瘤。你可以从另一个角度再拍一张照片,这样就得到脑的立体图像。这位教授的设想是:用计数器而不是胶片来实现以电子学方法记录射线的强度,然后绕头部旋转射线源和检测器,取得另一组数据。假设你有 10 个计数器,并且可以把它们一起旋转十个不同位置,你总共就得到 10×10 即 100 个数据。你把这 100 个数据用式子算一下就会知道脑内的密度分布。这就是 CAT 的主要思想,10 年前就已实现。现在 CAT 扫描仪广泛应用于所有医院,特别是脑专科医院。这一伟大的贡献在于我们几乎可以给脑瘤精确定位。在 CAT 出现之前,如果一个人患了脑瘤并开了刀,医生不能准确确定肿瘤的位置。所以为了保险起见,医生不得不取出一块较大的脑组织,直径有几个厘米。这当然非常危险,因为不应该触动太多的脑组织。那么,现在医生由于能够精确定出脑瘤的位置,每次只需取出直径几毫米的脑组织。这当然是一个很大的进步。

另一个深受计算机影响的例子是计算机分类学。分类学是一门将动植物分门别类的科学,这是产生于中国和西方的最古老的生物学分支之一。但是在本世纪初,因为缺乏分类的新途径,这门学科几乎走投无路。二次大战后,大容量计算机问世,人们开始有了如下思想:如果有两种不同的植物,你想识别它们是否有联系,你可以对每种植物列出,比如说,50 种特征:A 有多高,B 有多高;A 开什么样的花,B 开什么样的花;它是易于在干燥抑或是潮湿气候中生长,等等。有了从 50 个不同方面进行测量的数

据，就可以用50维空间中的一点代表一种植物。现在，在这个基础上，如果你只凭头脑去想象，是不能准确区分两种植物的远近关系程度。但是如果有一台电子计算机，你就能用标准的数学方法，看出它们是否属于同类了。换句话说，如果你有成千上万棵植物，每一种由50维空间中一点代表，你借助于计算机便可以看出这些点是否属于同一分支，或者分属几个不同的分支。如果你把这50维空间投影到比如说两维空间，那么这些点是不分开的，它们聚集在一起。但是，如果用计算机进行分析，以各种非常复杂的方式旋转这个50维空间，然后从其中几个方式进行观察，就可以将这些点很好地区分开来。我相信你们在观察果园里一排排果树会有这种体会，当你没有从合适的角度去看这些果树时，它们排列得有点儿乱。但是当你从某个特定的方向去观察，它们是成行的。分类的道理也是相同的，只不过空间维数要高得多，这已使分类学领域发生革命性变化。事实上，人们发现19世纪的有些分类是完全错误的。有些植物曾被认为彼此密切相关，但是，采用新技术进行分类，发现它们原来完全不同，彼此毫无联系；而另一些植物，由于它们某些表面特性被认为是无关联的，却被证明关系密切。因此，你看，人们利用计算机就能够发现以前不可能发现的科学事实。现在证明有许多年轻人在使用计算机方面很有天赋，如果你是其中一员，我认为你应该重视这一特长，因为这可能为你自己开拓一条特殊的发展途径，不但能够从中找到你的事业，而且更令人振奋的是它会给你指出一条使你能对某些科学分支的发展产生深远影响的革命性方向。

我想同样强调的另一点是，有许多年轻人喜欢收集、分类和整理各种各样的东西。我要强调的是，这也是一种才能，不是每个人都能做到的。我相信大家知道一些人比另一些有更高的组织能力。我不是最好的组织者，不过，我常希望自己的组织能力

有所提高。但是有人天生就是组织者，如果你是其中一员的话，我希望你抓住这个有利条件，因为大量科学知识最终要系统化。因此，你们那些喜欢对事物加以系统化，有一定系统化感的人同样应该抓住这一点，因为它会引导你走向非常有益和重要的新的发展方向。

同样，有许多人喜欢解决问题。不是每个人都喜欢解决问题，也不是每个人都具有相同的解决问题的能力。但是解决问题非常近似于科学研究。我不知道你们是否喜欢玩拼板玩具。如果你玩过拼板游戏并且仔细思考一下，就会发现解决一个拼板问题很像攻一个科学难题。我给大家讲具体的几条来说明这种相似之处。你们都知道要做的是拼出大幅图案。现在我一遍又一遍地拼着，即使有时我认为这全是白白浪费时间。（但是话又说回来，你不是在这方面浪费点时间，就是在那方面浪费点时间，因此你倒不妨在拼板玩具上费点时间！）当你拼板的时候，一般来说开始会拼得比较顺利，但过一会就完全难住了。有几片重要的板，你找不着。科学研究的进程也是如此。开始，你着手工作时可能相当容易入手，可不久你就没主意了，你给难住了。关键是坚持，但不一定只拘泥于一种领域。我相信你如果是拼板的好手，就会有这样的体验：常常在你寻找一个特殊问题的答案时，你找到某一片板，突然意识到这就是一个小时以前所寻找的。然后，你用这片来解决一小时前研究的问题，常常会干得很漂亮。这就是科学发现的规律。实际上，大概70年前，伟大的数学家彭加勒(Poincare)就在一些很有见解的文章里对此作过详尽阐述。当你思考数学问题时，时常会整个难住了。重要的是别就此止步，同时还要将其放在一边不管。“搁置法”是彭加勒的术语。搁置法可以使你从目前的难题中摆脱出来，但这并不意味着你的大脑不再思考它了，也许它已经进入你意识的一个不同的层次。当

你不再想这个问题而想着别的什么的时候，你会灵机一动，想出一个主意。在下意识中你一定仍在想着它，一经正确的概念组合，你就会解决这个原先的问题。彭加勒举了他的一些重要的数学发现作为例子，说明他如何用这种方法得出它们的。我完全赞同他的这些分析。现在心理学家们已经讨论了这个问题。我想大家公认作为一种现象它确实存在，但我认为他们还是没有彻底了解它。

解决拼板问题也不要试图一下子拼出整幅图案，这常常是太困难了。你先处理局部问题，这样你在这儿拼好一小片，在那儿拼好一小片，在别的地方再拼好一小片，突然之间，你找到一片单板可以把几个已拼好的小片连接在一起，此时你的兴奋心情是难以形容的。而这正如你找到打开科学发现宝库的钥匙时所产生的兴奋心情。在科学上，你既要从整体上、战略上考虑问题，也要从局部上、战术上考虑问题，从局部上，你解决小问题，可是要把它们联成整体，这时你就需要一个重要的思想。找到这个思想就像拼板游戏中找到那片联接板一样。所以我说，用于解决像拼板游戏或其他难题这样问题的才能或经验，也是一种人们可以培养的才能或经验，这种经验在某些方面和科学研究非常类似。

我想向你们强调的另一点是：培养博览群书的习惯是很有益的。（尽管也许不是绝对必要。）20 世纪的科学在各方面都取得了令人惊叹的进步，而且科学正在以惊人的速度不断开拓新领域，所以没有什么人能什么都懂。那么在这种状况下，你有几种不同的选择。你可以说，我要倾全力于某个狭窄的领域，因为想要什么都懂是不可能的，想要什么都懂必然是浪费时间。但你也可能持另外一种不同的看法，说，我要扩大知识面，有广泛的兴趣。我认为后者一般来说更容易成功。这当然只是一个一般的建议。对于不同环境中不同的人来说，这个建议也许不恰当。但

是我想强调，正是因为科学在朝着许多方向发展，那些被忽视的科学领域很可能属于边缘学科，而且也许最终会成为最重要的发展领域。如果一个人年轻的时候就已经对几个科学领域感兴趣，那么他以后就会更有发展前途。CAT 扫描仪就是一个很好的例子。那位理论物理学教授不仅对物理感兴趣，对计算机技术也感兴趣，他还对医学感兴趣，因此他就产生了那种设想。一旦这种想法产生了，我想大家会说自己太笨了，以前怎么就没想到过。但是，他之所以有这种设想并不一定是他比别人更聪明，而是因为他比别人的知识面广，他通晓几种学科，因此当所学的东西成熟时，就会正确地利用它们。

我发现《科学美国人》(*Scientific American*)杂志最有趣，也许它是这种杂志中办得最成功的。它面向大学生和老师以及同等水平的读者，在美国每月发行 1 期，并译成约 10 种文字。在中国大陆是逐期翻译的，我不知道在香港能否看到。我希望你们的图书馆应该中英两种文本都能有。因为这个杂志是邀请专家撰写的，概括介绍各个领域内各种新的科学发展，所以办得很成功，每期发行几十万份。对于这类杂志来说，这是很大的发行量了。事实上，《科学美国人》成功的本身就是一个非常有趣的故事。《科学美国人》早在 100 年前就已经出版发行了，但在二次大战结束的时候陷入严重的经济困难，几乎破产，那时它办得与《大众机械》(*Popular Mechanics*)差不多。《大众机械》你们也许有人读过，办得不好。有三个 20 多岁的年轻人认为他们可以办好一份科学杂志。于是他们借了 1 万美元买下了这个杂志社。因为这个杂志社当时正处于严重的困难之中，所以很便宜地卖给了他们。而他们的想法只是改变一下编辑方针，不是让编辑写文章，而是让从事各种各样科学研究的人自己写。这个主意妙极了。不出两年，杂志就办成功了。从此，其规模飞速发展起来。如果

你想阅读其中一篇文章,开始你会觉得困难。这是因为,尽管它是为普通非专业读者写的,但是,比如说,除非你是个生物学家,否则你就会发现有关生物学的文章中有很多术语很陌生。开始你理解不了。我的建议是,不要怕,要坚持。每期有12篇文章,你不必全读,只读其中的一部分。这样坚持比如说半年,你就会对其中某些文章内容熟悉了。大家知道这本杂志涉及整个科学领域,所以你们对计算机特别感兴趣的人就会觉得与计算机有关的文章有意思,也好读;对生物学感兴趣的人会发现对诸如神经科学、遗传工程等学科的新进展有一定程度的了解。随着你不断地阅读这类文章,你会了解得越来越多。我认为这个建议对你们很有好处。我曾向美国许多大学生提出过这个建议,后来他们很多人告诉我这个建议的确很好。

到现在为止我还没提到数学。这并不是因为数学对科学来说不重要,而是因为我想强调科学并不需要有研究数学的能力。当然,如果你擅长数学,那么你会有些基础,但这只是科学研究的一个方面。你决不要把很高的数学本领看作是研究科学所绝对必要的。实际上我知道许多优秀的数学家,他们显然不是真正的自然科学家,因为数学的结构与自然科学的不同。如果一个人接受了数学的结构,他很可能走得太偏了,很可能对现实的物理和生物世界中更实际的、更难搞的问题不感兴趣。早在中学时代,由于偶然的机会我对数学发生了兴趣,而且发现了自己的数学能力。本世纪30年代,开明书局出版了一份杂志,名叫《中学生》。我想香港的一些图书馆一定还收藏有这份杂志。这份杂志非常好,面向中学生,办得认真,内容有趣。有一位刘薰宇先生,他是位数学家,写过许多通俗易懂和极其有趣的数学方面的文章。我记得,我读了他写的关于一个智力测验的文章,才知道排列和奇偶排列这些极为重要的数学概念。你们也可能见过这个智力测

验题。它是把一个盒子分成16个正方形格子，其中15个格子各填上一个方块，一个是空的。你可以来回移动这些方块。这些方块开始是杂乱无章的，要求你把它们移动成某一特殊状态。这是一个非常有趣的难题。我相信你们见到过，而且一定在香港流传很普遍。但是，如何移动以及是否能从最初的状态达到所要求的状态，就需要运用奇偶排列的概念进行数学上的分析。如果某人有数学天才并且喜欢解决这种问题，那是很幸运的。他或她应该尽可能广泛深入地钻研下去，从而培养这种兴趣。

值得庆幸的是，在我10多岁时，因为我父亲是个数学家，所以他的书架上有许多数学方面的书。因此我能在他的书房里随意翻阅这些书。我虽然不能全部弄懂，但有时会偶然发现一些很有趣的东西。例如，由于父亲是数论学家，有大量关于数论的书。我拿出他的书看，其中有一本是著名数论学家哈代(Hardy)写的。就在前几章找到一些定理，其中之一是每个整数都是4个平方数之和。数字1是个平方数，4是个平方数，9是个平方数。所以就有了一个定理说每个整数都是4个平方数之和。那时我还看不懂它的证明，但我对它特别感兴趣。我想看着那些数值较小的数是不是也是4个平方数之和，果真如此。那么我在这个过程中学到了什么没有？学到了，我更加了解了整数，而对整数的了解几乎是成为一个数论学家的先决条件。大家可能知道，每个卓越的数论学家对较小的整数都了如指掌。他们了解每个数的特性。关于哈代和拉马努杰恩(Ramanujan)的动人故事在这方面最有代表性。如果你还没有听说过拉马努杰恩的名字，我极力希望你查一下百科全书，而且在图书馆你会找到哈代写拉马努杰恩的书。拉马努杰恩是位印度数学家，没受过任何正规教育，但他特别擅长数学，并且有很强的直觉能力。哈代在当时(也就是本世纪初)是世界上非常杰出的数学家之一。顺便提一下，哈代的写作水平

很高。有一本他写得很漂亮的书叫作《一个数学家的歉意》(*A Mathematician's Apology*)。既然讲到这个话题，我就再说说C.P.斯诺(C.P.Snow)，一名最杰出的作家，曾写过一本书，名为《形形色色的人》(*Varieties of Men*)。大约10年前出版的。我相信只要有些藏书的图书馆都会有这本书。在这本书里，斯诺写了6个或者10个人，包括哈代、爱因斯坦(Einstein)和许多知名人士。这本集子里最精彩的一篇是斯诺对哈代的描写。哈代是一位优秀的数学家，一位伟大的数学家，他有自己独特的性格，这篇文章把这些性格描绘得淋漓尽致。哈代自己也是位出色的作家，他在书里阐述了自己的观点。你们不一定同意这种观点，这个观点有点太偏激。但文章是很漂亮的，叙述了哈代的数学观念。

我说过哈代是一位杰出的数学家，他是剑桥大学的教授。一天早晨，他收到拉马努杰恩一封很简短的信。信上说："亲爱的哈代教授，我已经得出了以下定理，不知您是否对此感兴趣。"接着他列了12条定理，都是很长的等式。研究数学定理是哈代的特长之一。他看了一遍就放到一边去了，因为像许多著名的学者一样，哈代经常收到这样的来信，其中大部分内容是完全错误的。所以他就把它放在一边去了。但过了2个小时，那些公式不时地重现在他的脑海里，所以他又重新读了那些公式。他发现前两三个公式自己已经知道，它们都是著名的等式。接下来的几个他尽管从没见过但肯定是正确的。再后，其余的等式甚至是他难以想象的。他想不出有人能写出这样的等式，也不知道如何证明，但是看着它们，他终于明白了它们很可能全都是正确的。他是一个专家，但从未见过这些类型的等式，而后他想了想，并肯定拉马努杰恩有某种秘密工具使得他写下这些等式。于是他后来请拉马努杰恩访问剑桥大学，他们成了合作者。他们的合作非常有趣，因为拉马努杰恩没受过正规训练，而哈代受过最好的正规训练。

拉马努杰恩有很高的直觉能力，能写出自己也不能证明的等式。他对哈代说不出是怎么想出这些公式的，但哈代研究了一下，最终发现它们是可以证明的。这是一次很重大的合作。

不幸的是，拉马努杰恩还未到 30 岁就死于肺结核。哈代后来非常感人地描述了关于拉马努杰恩的故事。下面是他讲的关于拉马努杰恩的故事之一：一天，拉马努杰恩生病住了医院，哈代去看他。当他走进拉马努杰恩的病房时，只是随便谈谈话，他对拉马努杰恩说："我坐出租车来的，车号是 1729。"他说这是个毫无意思的数。拉马努杰恩说："不，不，这是个很有意思的数，它是能用两种不同方式表示成两个立方数之和的最小的数。"这个故事说明他们是极其优秀的数论学家，因为他们经常思考着这些数。他们每时每刻都在演算这些加法，因此每个数都是他们的朋友，他们了解每个数的特性。因而拉马努杰恩了解 1729 这个数的特性。当然不仅仅是数论学家如此了解本领域的基础知识，其他专家也是如此。有些人不想去熟悉一个学科的基础（例如，熟悉了解数是数论的基础），不想去熟悉前人已积累的知识（他们想要做出实际贡献所必备的知识），而想跳过这一步，迫不及待地向前跃进，想一下迎战最现代的问题。这样是绝不会成功的。你要反复学习人们过去研究过的各种思想概念，当你把这些思想融汇贯通之后，你会看到前人所没有看到的东西。如果你还未熟悉前人的成就，要想跳到最前沿水平、作出真正的贡献是绝不可能的。

下面我想给你们写下这样一句话："**初生之犊不畏虎。**"也许很难将它译成英语，可以直译成：a young calf does not know enough to fear the tiger. 这是个非常重要的概念，我之所以在此特别强调这一点，是因为我认为传统的中国文化不提倡这一点。我认为华生（Watson）写的《双链结构》（*Double Helix*）是一本真正优秀的通俗读物。华生和克里克（Crick）在 20 世纪 50 年代初对遗

传物质DNA的结构有了深刻的发现。他们考察了富兰克林小姐(Frankin)拍的几张X光照片之后,率先提出了DNA分子是双螺旋链式结构的设想。我无需强调这个发现的重要性。我相信若干年之后人们会把它看成是20世纪生物学最重要的发现。在60年代华生写了这本通俗读物,描述了他与克里克的经历。这本书很精彩,非常生动地阐述了(虽然没有直接这样说),那些知识虽不太丰富,但有强烈热情、无所畏惧、敢于涉足新领域而不被束缚的年轻人是搞科学的好材料。事实上他在书里所讲的一些事吓坏了许多因循守旧的人。他们或者认为他不道德,或者认为他愚蠢,或者认为他太冒险。当时发表了许多书评,有些就是这种论调。其中一篇书评是一位从欧洲来到哥伦比亚大学的教授写的,他是位学识渊博的学者。《双链结构》是用通俗的美国式英语写的,而这篇书评是用受过典型欧洲式教育的非常学术性的、非常深奥的语言写的。这个对比本身就很有趣,因为依我看,这对比显然使华生正中下怀:所以嘛,你们这些学识渊博的人可以搞科学,没有这么高深学问的人也可以搞科学。只要你有这种力量,有这种精神,敢于冒险,无所畏惧,能深入钻研非常复杂的事物,你就会有重大的科学发现。所以,如果你们还没有读过华生的这本书,我把它推荐给你们。我并不是建议你们一定去照搬他们的模式,因其中一些不是那么值得赞美的。但尽管如此,从这本书里我们可以吸取一个教训,而且这个教训对于一个中国血统的听众来说也许尤其重要。因为正如我所说的,中国的传统观念太倾向于崇拜权威,而不鼓励年轻人开创出新路子。

我一贯强调的与此有关的一点是:渗透式地学习。你可以循序渐进地学习知识,也可以不采用这种通过逐步理解进行系统化学习的方法。我想强调这种知识间相互渗透的学习很重要,并且也是在中国文化中不受重视的。因此,重要的是,你们每个人要

了解这一点，要了解到有另外的一种学习方法，它也是值得引起你们注意的。中国有句格言说："知之为知之，不知为不知，是知也。"这句格言的意思是你自己应该知道哪些你明白，哪些你不明白，要把它们区分开。这意味着，如果你不知道哪些你不明白，不知道哪些你明白，那么你就会把所有的事情搞糟。这一观念有它的效力，但我想强调的是，这个观念也有其很大的缺陷。如果一个人受其影响太深，他或她就会受其阻碍。每个访问美国并同美国青年交谈的人都会立即明白这一点，因为美国的教育恰好持相反的观点。所有的年轻人脑子里都不时会冒出各式各样的想法，假如你同他们交谈一会儿，就会发现他们只是一知半解。但这没关系，他们仍旧充满热情。出于这种热情，从这些混乱的思想中，最终会孕育出真理来，这是那些受那个观念束缚太深的人所不敢想象的。我清楚地记得，本世纪 40 年代后期在普林斯顿(Princeton)有一位作博士后的同事。他叫布鲁克纳(Brueckner)，是一位非常出色的核理论学家。他提出一个思想而且经常谈论。我挺感兴趣，就和他详细讨论了几天。三天以后，我肯定他的这整个思想是完全错误的，因为他回答不出任何问题。如果你问他一个问题，他第一天这样答，第二天那样答，所以显然他理不出头绪。因此我说这是完全错误的尝试。但是我错了，因为后来有人考察他的观点，发现在这一片混乱的思想之中，虽然有些是相互矛盾的，但有些想法是极为重要的。那些想法被清理出来并加以证实，这样去伪存真之后，它就成了一项十分重大的成果。美国是很重视这种发展模式的。现在如果我在同一群美国学生讲话，我就会强调"知之为知之，不知为不知"是一条很好的准则，因为许多美国学生不懂得这一点而被弄得晕头转向。但我现在不是同在美国文化背景下成长起来的学生讲话。我想这种观念在传统的中国教育哲学中强调得太多了。考虑怎么样从这个观念的

强烈束缚下解放出来或许对你们每个人更有好处。

总之，我真正要强调的是，科学是包罗万象的事业，它需要有各方面的才能。如果你想献身科学，很重要的是要了解这一点，要把握住自己最突出的科学兴趣和天赋，并不断地加以培养和发展。

让我祝你们成功！谢谢大家。

读书教学四十年(1983)

本文原载香港中文大学校刊 1983 年附刊五，是作者在该校 20 周年纪念讲座上的演讲。日期是 1983 年 3 月 2 日。收入《读书教学四十年》，香港三联书店，1985 年。

这次有机会在风光旖旎的中文大学校园里停留 3 个月的时间，我觉得非常高兴。在天气晴朗的时候，中文大学是非常漂亮的。在天气阴雨的时候，如果你看的方向对的话，中文大学也是非常富有诗意的。

我尤其高兴有机会参与中文大学 20 周年校庆的学术活动。中文大学成立至今才 20 年，是一个很短的时间。可是，这 20 年中间，中文大学已经在很多方面取得了了不起的成就。这毫无疑问是香港社会人士和中大校董会、校长、行政人员、教师和学生共同努力的结果。中国古语说，“十年树木，百年树人。”“树人”是一件很困难的工作。但中大在 20 年期间已经培养了不少人才。这是值得自豪的。

启　蒙

今天我准备和大家谈谈我个人读书、教学 40 年的经验。我是 1922 年在安徽省合肥县出生的。合肥那时候是一个很破旧的城市。我头六年在合肥的生活，现在只依稀记得很少的一些情

景。印象最深的是那时军阀混战，常常打到合肥来。我们经常要“跑反”，跑到乡下或医院里去躲避。因为医院是外国教会办的，在那里面比较保险。我印象中最深的第一个记忆，是3岁那年在一次“跑反”后回到“四古巷”家里，在房子角落里看到的一个子弹洞。

我出生的时候，父亲在安庆（旧名怀宁）一家中学教数学。我的名字杨振宁的宁字，就是从怀宁来的。像片二是我10个月的时候，父亲快要到美国去的前几天拍的。照片右边那个有窗户的房子，就是我们当时住的。像片六是两年以后我父亲在芝加哥大学念书时照的。左边第一位是吴有训先生。他后来是清华大学理学院院长、交通大学校长、中国科学院副院长。不幸在5年以前去世了。他旁边一位叫做夏少平，我从来没有见过，也不大清楚他是谁。我妈妈也不记得。再旁边一位是蔡翘，现在是北京军事医学科学院副院长。他的旁边是潘菽，现在是中国科学院心理研究所所长。最右边的一位是我父亲。他在美国住了5年，得到了芝加哥大学数学硕士与博士学位。那5年间母亲和我一直在合肥居住。我4岁的时候，母亲开始教我认方块字，花了1年多的时间，一共教了我3000个字。现在我所有认得的字加起来，估计不超过那个数目的两倍。

我的家那时是一个大家庭，有好多堂兄弟姊妹。从我5岁那年起，请了一位老先生到家里来教我们“读书”。我记得很清楚，念的头一本书是《龙文鞭影》，我背得非常之熟。1928年我6岁的时候，父亲从美国回来，母亲带我到上海去接他。然后3个人一块去厦门，因为父亲受聘做厦门大学数学教授。我这次看见父亲，事实上是等于看到了一个陌生的人。他问我念过书没有？我说念过了。念过什么书？念过《龙文鞭影》。叫我背，我就都背出来了。父亲接着问我书上讲的是什么意思。我完全不能解释。

不过，我记得他还是送了我一支钢笔，是我从来没有见过的东西。

小学与中学

1928 到 1929 年，我们住在厦门。像片十是在厦门鼓浪屿照的。那天我很显然不太高兴。30 多年以后，在 1960 年我父亲与母亲自上海飞到日内瓦跟我团聚以前，我弟弟翻出这张照片要他们带去。父亲说："不要带，不要带，那天我骂了振宁一顿，他很不高兴。"这是没有做过父母的人不易完全了解的故事。

厦门的一年生活，在我的记忆中是很幸福的。厦门大学的校舍很漂亮。教授的住宅设备记得也很现代化，有抽水茅坑，对我是非常新鲜的。在厦门我进了比较现代的小学。我们教职员子弟都集中在一个小学念书。只有一位老师，姓汪，教学很认真。我的数学和国文都念得还不坏。不过，我的手工不太成功。记得有一次我用泥做了一只鸡，拿回家里给我父亲母亲看。他们说做得很好，"是一只藕吧？"

像片九也是那年照的。在厦门大学住了一年以后，我们在 1929 年秋天迁到那时的北平。我父亲到清华大学任数学系教授。我们在清华园里一共住了 8 年，从 1929 年到抗战开始那一年。清华园的 8 年在我回忆中是非常美丽、非常幸福的。那时中国社会十分动荡，内忧外患，困难很多。但我们生活在清华园的围墙里头，不大与外界接触。我在这样一个被保护起来的环境里度过了童年。在我的记忆里头，清华园是很漂亮的。我跟我的小学同学们在园里到处游玩(像片十一)。几乎每一棵树我们都曾经爬过，每一棵草我们都曾经研究过。像片十三就是当时清华大学的大门。

今天的清华大学是大大扩展了。校园的东面从前是平绥铁路。为了清华的扩大，平绥铁路向东转了半个大圈。清华在 50

年代、60年代初以及文革以后，为中国造就了很多的理工科技人才。像片十四是解放后在园内照的。

1933年到1937年我在北平崇德中学上了4年中学。芦沟桥事变发生以后，我们家从北平搬回合肥。在合肥住了几个月，我进了省立六中。也是那几个月中我首次尝到被轰炸的滋味。后来日本军队快要打到南京，合肥人心惶惶。我们一家经过很复杂困难的途径，转换过好几种交通工具，经过汉口、香港、越南的海防，到了昆明。因为那时在昆明成立了西南联合大学，我父亲要到那里去教书。

在1938年初到了昆明以后，我进了昆华中学高中二年级。那个时候辗转流离的中学生非常之多，所以教育部在那年的夏天公布了一项措施：所有学生不需要文凭，可以凭同等学历报考大学。我在念完高中二年级以后，就少念了一年，以同等学历参加统一招生考试，考进了西南联大。像片十五是我当时的准考证。准考证号码很小，表示我很早就去报了名。

扎实的根基：西南联大

在西南联大从1938到1942年我念了4年的书。那时联大的教室是铁皮顶的房子，下雨的时候，叮当之响不停。地面是泥土压成的。几年以后，满是泥坑。像片十七是一些教室。像片十八是大图书馆。窗户没有玻璃。风吹时必须要用东西把纸张压住，否则就会被吹掉。①

在这样一个困难的时期，在常常要跑警报的情况下，西南联大的学术风气却是非常良好的。那时的教师阵容非常强大。大家知道，西南联大是清华、北大、南开三个大学合并在一起的。三个学校的教师都在联大教书，所以名教授很多。我记得很清楚，联大的大一国文是必修科，当时采用了轮流教学法。每一位教授

只讲一个到两个礼拜。一般来说，轮流教学法的效果通常是很差的，会产生混乱的情况。不过因为那时的教授阵容实在很强，轮流教学法给了我们多方面的文史知识。记得教过我大一国文的老师有朱自清先生、闻一多先生、罗常培先生、王力先生等很多人。我进西南联大报考的是化学系，但一进去后就改念了物理系。物理系那时的教师阵容也非常强。我的大一物理是跟赵忠尧先生念的。赵先生现在在北京中国科学院高能物理研究所，已经80多岁了。我的大二电磁学是跟吴有训先生念的。大二力学则是跟周培源先生念的。周先生曾是北大校长、中国科学院副院长，也是80岁出头了。

西南联大的教学风气是非常认真的。我们那时候所念的课，一般老师准备得很好，学生习题做得很多。所以在大学的4年和后来2年研究院期间，我学了很多东西。那时候一般所用的教科书，是有名的老书。这个风气跟今天美国的风气不一样。那时候如果有一本书是好的话，是用上几年、几十年的。现在美国的教科书就好像汽车一样，两三年就要有新的式样。

在联大给我影响最深的两位教授是吴大猷先生和王竹溪先生。吴先生现在住在台湾，在清华大学和交通大学兼课。他是在美国退休后，到台湾去的。他对我发生很大的影响，是因为我的联大学士论文是跟他写的。我在1941年的秋天去找他。他答应收我为他的学生，给了我一本 *Reviews of Modern Physics*(《现代物理评论》)，叫我去研究其中一篇文章，看看有什么心得。这篇文章讨论的是分子光谱学和群论的关系。我把这篇文章拿回家给父亲看。他虽不是念物理的，却很了解群论。他给了我狄克逊(Dickson)所写的一本小书，叫做 *Modern Algebraic Theories*(《近代代数理论》)。狄克逊是我父亲在芝加哥大学的老师。这本书写得非常合我的口味。因为它很精简，没有废话，在20页之间就

把群论中“表示理论”非常美妙地完全讲清楚了。我学到了群论的美妙，和它在物理中应用的深入，对我后来的工作有决定性的影响。这个领域叫做对称原理。我对对称原理发生兴趣实起源于那年吴先生的引导。像片五十是吴先生和我 1982 年合照的。

王竹溪先生于今年 1 月底在北京逝世，逝世时 71 岁，是北京大学副校长、物理系教授。我在 1942 年西南联大毕业以后，进了西南联大的研究院，又念了 2 年，得到了硕士学位。为了写硕士论文，我去找王竹溪先生。那时他是很年轻的教授，刚从英国回来不久。在王先生指导之下，我写了一篇论文，是关于统计力学的。这篇论文把我引导到统计力学的领域。以后 40 年间，吴先生和王先生引导我走的两个方向——对称原理和统计力学——一直是我的主要研究方向。[①]像片三十五是王先生 50 年代照的。

科学研究与风格

1944 年至 1945 年之间，我在联大附中教了一年书。1945 年的夏天，动身到美国去。那时候中国和美国之间没有商船或航线来往。所以我乘飞机先到加尔各答。在加尔各答等了 3 个月，等到了 U. S. S. General Stewart 上的空位。这种船叫 Liberty Ship（自由船），每艘载几千个在中、印、缅地区的美国兵回国去。船上留一二百个床位给非美国军队的人乘坐。我和一组清华留美同学，一共二十几个人（像片二十一），一同坐上了这样一艘运兵船。船舱非常挤。睡的床共有 4 层。每层只有 2 尺高。在床上不能坐起来。我们住在船最底下的“统舱”，里面有好几百人。周围都是美国兵。他们看见来了些年轻的中国学生，以为可以赚一点钱，于是拿出牌来要和我们打扑克。幸亏我们没有人同意。

那时我们都是第一次接触整天说英语的人。我还清楚记得，很多话我都听不懂，到了美国后也没听见人讲过。到 60 年代美

国讲“脏话”运动发生以后，我才懂得从前听见的是些什么话。

我在联大读书的时候，尤其是后来2年念研究院的时候，渐渐能欣赏一些物理学家的研究风格。我特别佩服的三位是爱因斯坦(Einstein)、费米(Fermi)和狄拉克(Dirac)(像片三十六、三十七和三十九)。他们都是20世纪的大物理学家。他们3个人的风格是不一样的。可是他们的风格有一个共同点，就是都能在非常复杂的物理现象之中提出其精神，然后把这精神通过很简单但深入的想法，用算学方式表示出来。他们的文章是单刀直入，正中要害的。我比较不能欣赏海森堡(Heisenberg)的风格。海森堡是20世纪的一位大物理学家。他的测不准原理是量子力学的基础。可是他的研究方法不是能引起我的共鸣的。

一般念文史的人，可能没有了解科学研究也有“风格”。大家知道每一个画家、音乐家、作家都有他自己独特的风格。也许有人会以为科学与文艺不同，科学是研究事实的。事实就是事实。什么叫做风格？要讨论这一点让我们拿物理学来讲吧。物理学的原理有它的结构。这个结构有它的美和妙的地方。而各个物理学工作者，对于这个结构的不同的美和妙的地方，有不同的感受。因为大家有不同的感受，所以每位工作者就会发展他自己独特的研究方向和研究方法。也就是说他会形成他自己的风格。

1945年11月我到美国。在纽约上岸。花了两天买了西服、大衣以后，第一件事情就是到哥伦比亚大学去找费米。费米不但在基本物理上有重大的贡献，而且是主持造世界第一个原子堆的人。因为这是战时工作，所以他的行踪是保密的。我在中国的时候就听说费米“失踪”了。可是我知道他失踪之前是哥伦比亚大学的教授。所以我到该校去问费米教授什么时候上课。使我非常惊讶而且非常失望的是，哥大物理系秘书竟未听说过有一个叫做费米的人。

后来我到普林斯顿去看我的一位老师张文裕教授。他现在是中国科学院高能物理研究所所长;那时正在美国访问。张先生告诉我,费米打仗期间曾在洛斯阿拉莫斯(Los Alamos),听说他已经决定要到芝加哥去当教授。这就是我成为芝加哥大学研究生的道理。

有血有肉的物理学:芝加哥大学

在芝加哥,我跟费米有很密切的关系。他在教授普通的课以外,还开了一门特别的课,讲授特别选出来的题目。我受他的影响很深。[①]我接触很多的另一位是泰勒(Teller)教授(像片四十二)。大家知道,他后来被称为"氢气弹之父"。泰勒的物理学的一个特点,是他有许多直觉的见解。这些见解不一定都是对的。恐怕百分之九十是错的。不过没有关系,只需要百分之十是对的就行了。而且他不怕他讲的见解可能是错的。这给了我很深的印象。

刚才我和大家提过,我跟吴大猷先生学了分子光谱学跟群论之间的关系。学的方法,主体是推演法:是从数学推演到物理的方法。泰勒所注意的是倒过来的方法。他要从物理的现象引导出数学的表示。换句话说,他着重的是归纳法。我跟他接触多了后,渐渐了解到他的思考方法的好处。因为归纳法的起点是物理现象。从这个方向出发,不易陷入形式化的泥坑。

我在芝加哥大学念了两年半,得到了博士学位,回想起来,确实学到了很多东西:不仅是一般书本上的知识,尤其重要的是方法与方向。刚才已经提到过方法了:归纳法。方向呢?通过当时芝加哥大学研究的气氛,我接触到一些最能有发展的研究方向。我常常想,我是很幸运的。在联大我有了一个扎实的根基,学了推演法。到了芝加哥受到新的启发,学了归纳法,掌握了一些新

的研究方向。两个地方的教育都对我以后的工作有决定性的作用。

我最近这些年常常到中国访问，发现中国的大学所教的课程往往是非常之深的。有所谓“四大力学”。每一个大学物理系的学生都要花很长的时间去念这4门艰深的理论课。“四大力学”是不是重要的呢？当然是重要的。没有人能否认“四大力学”是物理学的骨干。不过，物理学不单只是骨干。只有骨干的物理学是一个骷髅，不是活的。物理学需要有骨头，还需要有血、有肉。有骨头又有血肉的物理学，才是活的物理学。

我很高兴的是，今天中国物理学教学的体制正在更改。我想，多增加一些不绝对严密的、注重归纳法的课程，对于学生会有很多的好处。

做实验的经验

我还没有到芝加哥大学念书的时候，已深深感觉到，我对实验接触得太少。当时的愿望，是到芝加哥大学之后，一定要写一篇实验论文。我本来计划跟费米做实验。可是那时候我是一个外国人，不能进到阿贡国立实验室(Argonne National Laboratory)。而那时费米的实验室在阿贡，所以我的计划没有成功。后来费米介绍我到艾里逊(Allison)教授的实验室去工作。

当时，艾里逊的实验室要造一套40万电子伏的加速器。这在当时是相当大的。他有五六个研究生跟他做，我是其中之一。在他的实验室的18至20个月的经验，对于我后来的工作有很好的影响。因为通过了这经验，我领略了做实验的人在做些什么事情。我知道了他们的困难，他们着急一些什么事情，他们考虑一些什么事情。换言之，我领略了他们的价值观。另外对我有重要作用的是，我发现到我动手是不行的。那时候我们的实验室有个

笑话，说“凡是有爆炸的地方一定有杨振宁”。

在做了18个月的工作以后，我的实验不太成功。这倒不完全是我的错误，因为那个题目是一个做不出来的题目。有一天，泰勒来找我。他问，你做的实验是不是不大成功？我说，对了。他说：“你不必坚持一定写出一篇实验论文。你已写了理论论文，那么就用一篇理论论文作毕业论文吧。我可以做你的导师。”我听了这话很失望，因为我确实是一心一意想写一篇实验论文的。我说需要想一想。想了2天，决定接受他的建议。作了这个决定以后，我如释重负。这是我今天不是一个实验物理学家的道理。有的朋友说这恐怕是实验物理学的幸运。

普林斯顿高等学术研究所

我1948年夏得了博士学位之后，在芝大做了一年的教员(Instructor)。1949年春天，奥本海默(Oppenheimer)到芝加哥大学来演讲。他是一位重要的物理学家，在美国社会中十分有名，因为他主持了战时制造原子弹的工作(像片三十八)。1947年起他做普林斯顿高等学术研究所的所长。那里理论物理人才济济。他来芝大演讲后，我去找泰勒及费米，说我希望到该研究所去做研究。请他们给我写推荐信。他们都替我写了。奥本海默很快就回信说他接受我去。然后，费米对我说，高等学术研究所是一个很好的地方，不过不宜久居。因为里面研究的方向太理论化，容易变成形式主义，容易与实际的物理问题脱离关系，“有点像中古的修道院”。我是非常佩服费米的，所以他的话我深深记在心里头。他说，我应该去一年，然后回到芝加哥来。

1949年秋天，我到了普林斯顿。普林斯顿高等学术研究所只有约20位教授，都是知名学者。研究方向有数学、理论物理和历史。最有名的学者，当然是爱因斯坦。大家公认历史上最伟大

的2个物理学家就是牛顿和爱因斯坦。1949年爱因斯坦已经退休了，不过每天仍然到办公室去。我们年青人不大愿意去攀谈，因为怕给他麻烦。有一天，他叫助手来找我去跟他谈谈，因为他看到我和李政道写的一篇文章，是关于统计力学的。他在年轻的时候所做的很多工作有两个主要的传统。一个是电磁学，一个是统计力学。所以他一直对统计力学很有兴趣。他找我去谈了不少时候。爱因斯坦那时讲的英文夹了许多德国字。我不懂德文，而我去看他的时候又很紧张，所以我跟他谈完出来后，别人问我爱因斯坦跟我说了些什么，我竟讲不清楚。

普林斯顿高等学术研究所的研究气氛非常活跃。主要是一群年轻人经常讨论，经常辩论。当然也有剧烈的竞争。刚才我已讲过，费米曾建议我到普林斯顿一年以后回到芝加哥去。我知道他的看法是对的。1950年初奥本海默聘我长期留在普林斯顿研究所。考虑了好久，我决定留下。倒不是因为奥本海默的坚留，也不是忘记了费米的话，而是因为那个时候我在date杜致礼(按：即日后的杨振宁夫人)。“date”，香港好像叫“拍拖”。她那时在纽约念书，离普林斯顿很近。所以我就留下了。

40年代末，50年代初，物理学发展了一个新的领域。这个新的领域是粒子物理学。我和我同时的物理工作者很幸运，和这个新领域一同成长。这个领域在50年代、60年代、70年代乃至今天，一直有长足的发展，影响了人类对物质世界的结构的基本认识。这一点，我自己觉得我很幸运：一个年轻的人，在初出茅庐的时候，假如走进的领域是将来大有发展的，那末他能够做出比较有意义的工作的可能也就比较大。

在普林斯顿的时候，有一天，《生活》杂志要访问我，派了一位摄影师来照相。就在我的办公室里照了一张照片(像片一)。当时我的桌子上堆了一大堆“预印本”。我说搬掉再照，他说不要不

要，就这样很好。结果照出来后，我才知道为什么他是摄影师而我不是。

跳出象牙塔：石溪纽约州大

我几十年来的研究工作主要集中在统计力学跟粒子物理学中对称原理两方面。很幸运的，多年来，我有很多非常杰出的合作者。其中跟我合作得时间最长，最有成绩的是李政道跟吴大峻。李政道现在是哥伦比亚大学教授(像片二十四)，吴大峻是哈佛大学教授。还有一位米尔斯(Mills)(像片四十)，跟我合作的时间虽然不很长，但成果是很有意义的。他现在是俄亥俄州大教授。

1965年初，我忽然接到一个长途电话，是托尔(Toll)教授打来的。他也是念理论物理的。他说想来看我。我说很好。过两天，他来了，告诉我纽约州成立了一所新的大学，叫做纽约州立大学石溪分校。他已经接受了校长的位子，即将就任。他希望我到那边去做教授，帮助他把石溪建立成一所研究气氛非常浓厚的大学。考虑了几个星期后，我接受了他的邀请，于1966年夏天，离开了普林斯顿，到了石溪。

普林斯顿高等学术研究所是一个有名的研究所，是一个最成功的、名副其实的象牙之塔。我在普林斯顿前后17年。那是我一生之中研究工作做得最好的时期。那么，为什么要走出象牙之塔？这个问题，从那时候直到今天，常常有朋友问我。他们问走出了象牙之塔是否后悔？我的回答始终是：不后悔。世界不只有象牙之塔，还有很多很多别的事业。比如说建立石溪分校、建立中文大学就是。这些事业的重要，跟象牙之塔的重要是不同的。很难说哪一个更重要。

我接受了石溪分校的聘请以后，托尔校长从纽约州申请到特

别的计划,成立了理论物理研究所,请我主持。很幸运的,在其后17年里头,直到今天,有过很多很杰出的人到我们研究所来做教授,研究员或者学生。狄拉克教授在1967、1969年和后来访问过石溪好多次。他是我在中国做学生时已经最佩服的3位近代物理学家之一。所以他来我非常高兴。他现在已80岁了。在我们研究所的杰出人员中,我特别要提出的是一位来自南朝鲜的教授,叫做李昭辉(Benjamin Lee)。我最早认识他,是1960年前后他到普林斯顿高等学术研究所来做研究员的时候。我发现他有深入的、直觉的物理见解,是杰出的年青人才。1965年底,他已经是宾夕法尼亚大学(University of Pennsylvania)的正教授了。我请他到石溪来工作。他很高兴地接受了。这是我对石溪分校的贡献中很重要的一项。他在石溪从1966到1973这7年中间,作出了十分重要的工作,是他一生学术工作的顶峰。1973年,费米实验室成立,请了他去做理论物理部门的主任。不幸的是,1977年他在一次撞车事件中被撞死了。这是物理学界一个很大的损失。

访问中国

1971年夏天,美国跟中国冻结了多年的外交关系开始有一点解冻的迹象。我于7月间去中国访问了1个多月。那时从美国到中国去的学术界人士可说绝无仅有。为什么我着急要去呢?因为我看得出来,两个国家根据当时的国际情势,是在试探是否可以有些有用的接触。当时越南战争还没有结束。我很怕这刚打开一道小缝的门在几个月之内又会再关闭起来。而我个人很想回到我26年没有看到过的祖国去看看,跟我的老师、朋友和亲戚们见面。在那以前,我曾经跟我的父亲、母亲和弟妹在日内瓦和香港见过。不过我还有很多别的亲戚多年没有见到了。那年

7月我在巴黎中国大使馆拿到签证，自巴黎乘法航飞到了上海。在中国的期间，我去了上海、合肥、北京和大寨。中国的天翻地覆的变化给了我深刻的印象。个人情感上的感受绝不是三言两语可以描述的。

在北京的时候，我很荣幸会见了周总理(像片四十五)。他问了我许多关于美国的问题。回到美国以后我想我对于中国、美国都有一些认识，而且都有深厚的感情。在这两个大国初步接近的形势下，我认识到我有一个做桥梁的责任。我应该帮助建立两国之间的了解跟友谊。所以从那年以后，我差不多每年都到中国去访问。这些访问引导出我与中国好几个大学、研究所和研究员的学术合作，引导出石溪和中国几间大学的学术交流合同。

回　顾

去年9月我60岁了。古人叫耳顺之年。有机会回想了一下我念物理、做研究工作、做教师的经验，我觉得我是非常非常幸运的。在绝大多数和我同年岁的人都有着种种困难的遭遇的时候，我却有很好的老师，很好的合作者，很好的学生。而且在物理学界以外有很多很多的朋友。很幸运的，我的读书经验大部分在中国，研究经验大部分在美国，吸取了两种不同教育方式的好的地方。又很幸运的，我能够有机会在象牙之塔内工作了17年，现在在象牙之塔外也工作了17年。回想一下，我给我自己一个勉励：应该继续努力。

注：

① 参阅杨振宁《选集与后记》，*Selected Papers 1945-1980 with Commentary*, Freeman and Co. 1983.

在"中国知识分子与国家前途"演讲会上的讲词(1983)

本文是1983年3月12日作者在香港《大公报》复刊庆祝会讨论"中国知识分子与国家前途"演讲会上的讲词。载《读书教学四十年》,香港三联书店,1985年。

费先生、李先生、陈先生[1]:我很高兴今天有机会到这座谈会,谈关于"中国知识分子与国家前途"问题。

我很荣幸,今天在这座谈会上,陈先生和费先生[2]也发表他们的意见。陈先生是我父亲的同事和老朋友,在西南联大的时候,我还念过陈先生的课,可能陈先生已不记得了。

我自己是从事物理学研究工作的,所以不可避免地,我想跟大家谈的,会比较偏重于科技方面的知识分子问题。

工农业"翻两番"靠科技　赵总理曾作出重要讲话

在去年10月27日的《人民日报》上,有一篇赵总理的演讲词,题目叫做《经济振兴的一个战略问题》,这是他在全国科学技术奖励大会上的讲话,在《人民日报》第一版全文发表。在这篇文章的头一部分,赵总理分析了如何在20世纪末期达到工农业生产总值翻两番的目标,他详细地讨论了好些方面——能源、材料、资金、经营管理、技术改造等等。作了这些相当详细的分析以后,

他有以下的一段结论:“在老技术、老设备、老材料、老工艺、老产品的基础上,按照现在已经达到的技术经济指标,翻两番是办不到的。但是,在新技术、新设备、新材料、新工艺、新产品的基础上,翻两番是办得到的。不靠科学技术进步,这个目标就有落空的危险。依靠科学技术进步,这个目标就有实现的把握。”

这篇讲话是非常重要的,是给了中国以后20年的经济发展和全国总的发展方向一个蓝图。根据这个蓝图,我们了解到,中国知识分子对国家前途是负有重要的、而且是义不容辞的责任。

我们承认了这点以后,就可以问,是不是今天的中国知识分子认识了这个责任?是不是今天的中国知识分子愿意承担这个责任?我觉得,对这两个问题的回答,都是肯定的!

春蚕到死丝方尽　忧国忧民自古然

中国知识分子对社会的关心,中国知识分子忧国忧民的想法,中国知识分子的“先天下之忧而忧”的心情,是中国传统里面一个良好的部分,这一点跟西洋的传统有相当大的差别。我不是研究社会科学,也不是研究心理学的,我想,为什么这两个不同的文化传统所产生的知识分子,对国家、人民有不一样的看法,而且是很大程度的不一样,是一个很值得研究的问题。

我们大家都知道,诸葛亮说过:“鞠躬尽瘁,死而后已。”唐代李商隐的一首诗中有两句名句:“春蚕到死丝方尽,蜡烛成灰泪始干。”当时他写这两句的对象,不是关于知识分子忧国忧民的心情,不过以后这两句话常用在知识分子对于国家前途的心情的描述上。

前几年谌容女士写的中篇小说《人到中年》,大家都觉得写得非常好。我想,任何一个看过的人,都会感觉到,她确实很深刻、很实际、很到家地描写了今天绝大多数中国知识分子对于中国前

途愿意尽最大努力的一种心情。

假如对于中国的前途,中国知识分子有很大的责任;假如我们都承认,中国知识分子的绝大多数都愿意承担这个他们觉得义不容辞的责任,那么我想我们很容易就会得到以下的结论:今天有非常重要的事情,需要大家去讨论,就是怎样使这些忧国忧民的中国知识分子能够用得上他们的才能,来实现他们为国效劳的志愿。对于这个问题,我今天想提出三点来跟大家讨论讨论。我必须要说,我不是研究科学管理的,也没有大规模的科学管理经验,我虽然主持一个小的研究所,但与管理整个国家的知识分子政策问题,距离很远,不过我想本着“抛砖引玉”的想法,大胆提出几点来跟大家讨论。我提出的几点,不是整体的,是零碎的几个不同方向,不过我想,我们所要谈的问题,是很复杂的,恐怕需要从好多不同的方向、不同的角度都做一些分析,作一些建议。

重视青年知识分子意见　“论资排辈”做法不合理

第一点,我认为,要使得中国知识分子能够对中国的前途有重要的贡献,必须要很快地建立起一个健全的评价知识分子贡献的体制。这个评价体制不建立的话,我想要产生困难。评价体制的建立,是一个很复杂的事情,而且也不是不同的知识领域可以想出一个一致的办法,所以我只就科技方面稍微发挥一点意见。

过去几十年,中国对科技成果的评价,曾经作过好多次的努力,这一次赵总理选了在我刚才所说的全国科学技术发明奖励大会上作一篇重要的讲话,我想是有意义的,我想中国的领导人对这一点已经很注意。我自己只有一个很简单的,可以讲得很清楚的建议,就是我认为过去的几十年中,这个评价制度里面,对于年轻人的意见,太不重视。科学技术需要向新的东西发展,需要发掘新的人,用新的想法来得出新的结果,这不能用“论资排辈”的

方法来评价。

为了使我讲的这句话更具体一点，我举一个例子。我觉得在一个评价体制里面，假如投票的话，百分之八十的意见，应该由30岁到60岁的人的意见来做决定，而且，30岁到60岁的意见应该是主体。我的印象，过去的评价体制，没有做到这点，把许多资深专家的意见看得太重。

“专业”教育的缺点

第二点我希望跟大家提出来的，是通才教育和专业教育的问题。

中国解放以后，在大学教育里面，采取了专业的发展，每一系里面有好多的专业，而且一个学生选了一个专业以后，不要讲改系，要从一个系中的一个专业转到另一个专业，都非常之困难。在毕业以后，根据他的专业安排工作，假如以后他想调工作的话，也是非常困难。我觉得这一个办法，毛病非常之多，因为一个专业的教育，而且又是规定得很多、很严的专业教育，不能够灵活地发挥一个青年学生的喜好和能力。在我所熟悉的研究领域里，有很多很多的例子告诉我们，确实有许多人，他们的成就，就是因为他们所做的东西，是从前的人所没有做过的。既是从前没有人做过的，那就代表今天根本没有这些专业，把学生们都限制到很狭窄的既有专业中去是很不好的办法。

我想我可以特别为大家提出一个例子。最近几年，在物理学和数学上面，有一个很新的领域，叫做“混乱现象”的理论。物理学的研究应该是复杂的现象和简单的现象都研究的，不过我想大家很容易了解到，简单的现象较容易受大家注意，因为这里面的研究容易出成果。而复杂的现象大家不大容易在里面得出什么新的结果来，所以比较不大受注意。

一个"混乱理论"的最好例子，就是所谓"湍流"的研究。大家知道，假如水在管子里面流，流得很慢的时候，是很平稳的层流。怎样从平稳的层流变成一个湍流，这是100多年以年，物理学家非常注意的问题，可是一直没有完全解决。在70年代的初期，麻省理工学院有一个年青的研究生，叫做费根邦(Figenbaun)。我跟他的老师很熟，所以我曾问过他的老师，费根邦在念书的时候，是不是一个杰出的学生？他说不是，他念书还可以，不过没有人觉得他后来会做出这惊人的贡献。

费根邦的特点是什么呢？就是他喜欢玩计算机。他口袋里整天带着一部小的计算机，整天都弄着。这一件事情，通常对于一个学生的学习进度，不是最好的，因为太喜欢玩计算机的人，会把他的精力用到一个特别的方面去，不过，在美国的教育制度之下，是容许这样的，一个学生只要在别的方面还可以及格，他可以发展自己想发展的方向。费根邦在麻省理工学院毕业之后，到康奈尔大学去做了几年研究，没有什么特别出色的地方。后来他到了洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)实验室去，通过他整天在计算机上详细的计算，对于层流转换成湍流的现象，终于看出了一个新的论点。这一点在最近三年来，大家都了解是非常重要的，这一点所产生出来的一个数据，现在已经叫做"费根邦数目"，将来很可能变成像 π 等于3.1416那样的重要。

我想，费根邦这样子的才能，在一个专业体制的大学教育之下，恐怕很难发挥出来。通才教育还有一个非常重要的方面，刚才我所举的例子也可以表现出来。近代科学技术发展的方向非常之多，同一个学科里面就会分出来很多枝节。今天如要问物理学里面有多少枝节，我可以很容易数出来，有约15个很重要的枝节。这15个枝节之中，有很多都是在30年前不存在的，这句话就表示今天的科技是在蓬勃地向新的知识领域里进展。

在向新的知识领域进展的步骤之中，一个重要的现象，就是常常会把不同的领域里面的知识结合在一起。比如费根邦的工作是介乎计算机、物理学和数学之间，假如一个人只做这三样中的一样，那么很难想象他会得出费根邦的发展。

我可以给大家很简单的再举一个例子。大家知道，现在假如一个病人的脑子里长了瘤，医院里面常用的叫做电脑化轴向X光层面照相术（CAT），这是最近十年出来的一种新的脑部扫描机。这个机器是一个理论物理学家发明的，他懂物理，对电子计算机很感兴趣，也有一些医学方面的知识。他把这些结合起来，在15年前写了一篇文章，指出以既有的技术，贯彻既有的计算机能力，可以做出来这么一个扫描机器。这个扫描机有决定性的作用。大夫告诉我，从前，也就是新机器面世以前，一个人脑子里长了瘤，如果开刀的话，要拿掉半公分大小的一块，因为根据那时候探测的方法，不能准知道瘤在什么地方，为保险起见，要开得大一点。今天只需要拿掉差不多十分之一就可以了。

在今天高度的科技发展，高度的科技分枝的情形之下，要想有重要的突破性发展，一个很重要的条件，就是需要教育很多年轻人能够在好些个学科同时掌握住它们的问题，同时掌握住它们的精神。这个需要，跟专业这种体制是背道而驰的。

字字当活活则字字自响　攻关之外尚需散兵配合

另外一点，我希望跟大家提出来谈谈的是中国讨论科学技术发展的时候，常常用一个名词，叫做“攻关”。“攻关”是什么意思呢？就是有一个总的、大的目标，结合了很多人，向这总的大目标去进攻。

中国在解放以后，用“攻关”的办法在科学技术方面有了很重要的成就，我想大家知道的，有好些是中国国防方面的成就：原子

弹、氢气弹和飞弹，这些都是用攻关式的方法得出来的成绩。大家也知道，很有名的人工合成胰岛素，是中国科学上重大的突破，也是用攻关式的方法做出来的。

攻关式方法的成功，使得今天大家对于用攻关式的方法来进行科学研究工作，有很大的注意和很大的兴趣，这是好的。不过，我希望提出来的是，科学的研究不只是攻关式的。我觉得，以中国这样一个大的国家，必须要在攻关式的科学研究这个想法以外，注意另外一个方式。我替它起了一个名字，叫做“散兵战术”。就是不要有一个预先固定的目标，不需要结合很多的人、结合很多的资源去攻打，去做科学研究，而只需把一个不清楚的目标，用很少的几个人，让他们放手去通过自己的努力，自己的了解，自己的决定来做科学研究。

我个人觉得，中国目前对于这个“散兵战术”方法的科学研究，注意得不够，我提出来跟大家谈，希望中国对这方面多注意。为什么我这样说呢？这正如刚才所讲的费根邦的贡献，就是例子。我想用以下的讲法，大家更容易了解。在南宋的时候，有一个诗人，叫吕本中，在讨论诗的时候，他觉得应该一个字一个字都要念得响，他仔细分析下，提出必须要“字字当活，活则字字自响”：必须要一个字一个字都活，如果一个一个字都活的话，那么每一个字都可以响。

决定方向和目标　个人应有自主权

我认为在科技工作里面需要很多的科技工作人员，每一个人都是活的；必须要给每一个人相当大的决定自己的方向、决定自己目标的权利，假如你不准人做这事情的话，你就把很多的人固定得太死。很多人固定得太死，从一个长远的立场讲起来，是不好的。在这一方面，很容易举出例子。大家都知道中国有一个重

要的数学家，叫做陈景润。陈景润所做的研究工作，不是一个攻关式，而是一个“散兵战术”，也就是单枪匹马做他的东西。你要想把陈景润抓到一群人里面，非要他跟大家合作做一件事情，我想这是南辕北辙的事情。在美国，有一个大物理学家叫做费曼(Feynman)，他是一个几乎任何事情都与众不同的人。他曾经在第二次世界大战时参加了美国原子弹的工作，战后，他到康奈尔大学去教书。他的想法跟别人的想法不一样，书本上所讲的话，他并不一定相信，他要研究自己的想法。他在1947年至1948年，通过了跟别人不一样的一个特别的想法，有了极大的成就。这是最近几十年物理学里少数几个重大成就之一。

我常常在想，像费曼这样子的人，如果只准他攻关，就不可能让他发挥他的天才。另外一个例子，就是激光，激光是今天的重要技术之一，而且重要性在以后的20年到50年之内，不可避免的是与日俱增，在工业上、医学上及国防上都会变得更重要。而且从搞物理的人来看，激光所能做的妙的东西，多得不得了。激光是不是用攻关的方法来发明的呢？完全不是。是由几个人想方设法，试了不成功，又再试，最后搞出来的。

最妙最尖端发明　大多出自散兵式

这几十年最妙最最尖端的科技成果，绝大多数都不是用攻关的方法所发明的。我希望大家不要误解我的意思，我并不是说不应该做攻关式的研究工作，攻关式的研究工作是必要的，尤其在一个科技落后的国家，要想一直追上去，不可避免的要有很大的一部分力量放在攻关式的科研方面。我不但不反对攻关式的科研，我是赞成攻关式的科研。我所要讲的是，假如对于科技的发展认为必须只有攻关式的发展，那么就犯了一个相当严重的错误。因为真的有突破性的贡献，刚才我讲过，绝大多数不是用攻

关式的方法发展出来的。因为攻关式的办法是要你已经知道一个具体的问题以后，才能提出一个“关”来，要不然你看不出那个“关”是什么问题。而真正科技里面的发展，很多新东西就是因为当时多半的人都不知道那里面有问题，而被少数人提出来，所以才能有突破。

我想，如果适当地配合“攻关式”的战术和“散兵式”的战术，这样子才可以使得中国的科技知识分子做到刚才所讲的“字字都活”这样的一个状态。

开始时我说过，我觉得绝大多数的中国知识分子对于他们对中国前途所负的责任，是有义不容辞的感觉。我认为，如果通过讨论，有一些恰当的、新的体制建立起来，那么，中国的知识分子的动力可以大大地发展出来，可以使得他们达到他们对国家前途有贡献的愿望。

注：

① 费、李、陈三位是费彝民社长、李侠文副社长和陈岱孙教授。

② 此段所提的陈、费二位是陈岱孙、费孝通二教授。

诗三首

空间与时间(1979)

原载香港《七十年代》1979 年 3 月号。

1978 年夏访问新中国，正值全国热烈向四个现代化目标大步迈进。7 月 21 日赴拉萨途中飞越那木桌巴尔瓦山。山高 7750 余米，在西藏墨脱县境，雅鲁藏布江大转弯之焦点，高过欧非美澳各洲之任何一山脉。奇景难忘，有感试作。用现代韵。

玲珑晶莹态万千，雪铸峻岭冰刻川；
皑皑遥目无边际，深邃凝静亿万年。

尘寰动荡二百代，云水风雷变幻急；
若问那山未来事，物竞天存争朝夕。

赞陈氏级(1983)

原载香港《七十年代》,1983年2月号。

天衣岂无缝　匠心剪接成
浑然归一体　广邃妙绝伦
造化爱几何　四力纤维能
千古寸心事　欧高黎嘉陈

解　释:

抗战时期我在昆明西南联大上大学与研究院,先后6年。曾念过陈省身教授的几门课。后来他到美国普林斯顿(Princeton)高等学术研究所(Institute for Advanced Study)去做研究工作,于1944年发表了一篇论文。今天大家公认这篇文章把微分几何和拓扑学引入了新的境界。

纤维丛(Fibre Bundle)理论中的陈氏级(Chern Class)就是从这篇文章推导出来的观念。它不但是划时代的贡献,也是十分美妙的构思:把一个完整的流形(Manifold)切开,再巧妙地接起来,天衣无缝地归还原形。我在1975年懂了此中奥妙以后,真有叹为观止之感。

我是研究物理的,为什么去求了解陈氏级呢?经过是这样的:近代物理学研究自然界的“力”,发现共有四种:核力、电磁力、弱力和引力。四种力和它们的能(Energy)都是规范场(Gauge Field),这是近30年来的一项基本了解。规范场的方程式是物理

学者从19世纪的电磁学方程推广出来的。惊人的地方是这些方程式后来发现和数学家的纤维丛观念有密切的关系。1974年又发现了这些方程式与陈氏级的关系。物理学者因而知道有了解陈氏级的必要。至于为什么自然界的各种力都要建筑在几何学中的纤维丛观念上始终是不解之谜。

陈教授今天在几何学界的地位已直追欧几里得(Euclid，公元前300年左右)、高斯(Gauss, 1777—1855)、黎曼(Riemann, 1826—1866)和嘉当(E. Cartan, 1869—1951)。

瑞士仙境(1983)

1983年7月11日自翠里西(Zurich)乘瑞航返纽约。飞越瑞士中部阿尔卑斯山脉以北地区，人烟稠密，风景绝佳。天边遥见少妇峰(Jung frau)、黑鹰峰(Finster aar horn)杂于云垛之间，飘忽迷离。有感而作。

谁道仙源无处寻　薄雾良田湖丘群
雾上白垛悠闲飘　浅是雪山深是云

附：英译中国古典诗句二

加州大学戴维斯分校乔玲丽教授在杨振宁教授70寿辰的祝贺文章中说：杨振宁教授喜爱唐宋诗词，尤其喜欢杜甫的“文章千古事，得失寸心知”和陆游的“形骸已与流年老，诗句犹争造化工”。杨教授曾将此二句译成英文：

文章千古事，得失寸心知。

A piece of literature is meant for the millennium,
But its ups and downs are known already in the author's heart.

形骸已与流年老，诗句犹争造化工。

My body creaks under the weight of passing years,
My poems aim still to rival the perfection of nature.

谈谈学习方法

——在美国戴维斯和中国访问学者和留学生的谈话(1984年1月21日)

本文由严学高根据谈话记录整理,原载1984年5月18日《光明日报》。

有些中国留学生要我谈谈这样一个问题,理工学院的研究生来到美国以后,即使语言上吃了些亏,但在系里的学习成绩却很快就上去了,而且考试都是名列前茅。于是他们自信心也很强。可是过了一二年,开始做论文了,忽然大家好像研究工作做不下去了,感到没有自信心了。难道中国人的脑筋不宜于做研究工作,只宜于考试?是不是中国的训练方法使他们不会做研究工作呢?我想这个问题很值得谈谈。你们大家在这里当了学生以后就会了解到,美国的教育方法与中国的教育方法不一样。我这里讲的中国教育方法是指整个东方的传统。这个传统的教法是,一步步地教、一步步地学,这个观念从很小就灌输进去了,儿童还在没上学以前就有了。美国的教师到中国去看了以后,觉得有些不可思议的现象。中国幼儿园的小孩子常常一排排地坐得很整齐,而美国的几个小孩子放在一起就会乱起来。他们不懂,这是与中国的整个社会结构有关系的。守规矩,一步步地学,这是从幼儿时代就有了的影响。这影响有好处有坏处,最大的一点好处是,

比较有耐心，比较了解要学好一样东西，需要努力，有个过程，不能一下子学到手。在美国生长的小孩老爱讲一句话，“这东西没多大意思”，还没过去三分钟就说“没意思”，不想再听下去了，当然不可能再有意思了。传统教育方法训练出来的小孩，可以深入地学到许多东西，这对于他进大学、考试有许多帮助。是不是这种做法对做研究工作有妨碍呢？中国留学生所以考试后做研究工作时不安，着急，主要是因他需要走的路与他过去的学习方法完全不一样。过去的学习方法是被人家指出来的路你去走，新的学习方法是要自己去找路。这里有个习惯问题，忽然一下子要自己去找路，就有点觉得茫茫然。这有个心理作用，这个心理作用克服以后，从总的来看还是占便宜的。对某一个人来讲，最重要是不要害怕，不要怕新的东西。我自己就有这样的过程。我于1938年到1942年在昆明西南联大物理系学习，1944年得了硕士学位，1945年来到美国芝加哥大学物理系。我很快就发现这里学物理的空气与西南联大不一样。西南联大的课教得都比较认真，包含的方向很广，常常比较深入而详细。美国教授主要做研究工作，上课不大认真。但很快我发现他们有很多好处，最大的好处是和实际的问题比较接近，使我知道哪些问题可以有发展，并且学习到一些思想方法。美国学物理的方法与中国学物理的方法不一样。中国学物理的方法是演绎法，先有许多定理，然后进行推演；美国对物理的了解是从现象出发，倒过来的，物理定理是从现象归纳出来的，是归纳法。演绎法是学考试的人用的办法；归纳法是做学问的办法。做学问的人从自己的具体工作分析中抽象出定理来，这样所注意的就是那些与现象接近的东西。另外，最重要的一点是方向问题。我看到物理界有许多人在念书的时候学习成绩都很好。过了二三十年，他们的差别却很大。有人做出了大成就，有人老是做一样事，费了很大的劲，却没有什么成

绩。这是什么道理呢？这里虽然有能力问题，但不是主要的。最主要是会不会选择正确的方向，哪个方向将来会有新的发展。如果你在做研究生的时候，掌握了两三个方向，这些方向在5年或10年内有大发展的话，那么只要你是一个不坏的研究生，你就一定有前途。如果你搞的那个方向是个强弩之末，你再搞进去，如果不转行，你就不会有大成就。那么，怎么知道那个方向会有发展呢？比如那些10年前很红的方向，一般来说，经过10年的研究，往往过时了。每个领域常常是因为有了新的问题，新的办法，才变得发达起来的。但是经过了十几年研究，它的新东西快要挖掘完了，再走进这个领域就没有什么大成就了。这是需要睁大眼睛仔细了解的。怎样才能掌握住方向呢？我建议你们，每星期抽一定时间去图书馆，特别是系里的图书馆去乱看看，浏览一下。过了两三个月，你就会了解了那些介绍性的杂志(有专门的与不专门的)。看多了以后，你就能掌握住你那个领域的发展方向。这一点，从中国来的留学生很多人不知道怎么去做。因为他们看了一个东西，不太懂以后，就不敢去问津。他们习惯于"知之为知之，不知为不知。是知也。"习惯于一步步严格地学习，这当然是有好处的；但另一种方法也不能排除，可以说是一种渗透性的学习方法。你看了一个东西不太懂，但多看几次以后，就会不知不觉地吸收进去了。这是一种很重要的学习方法。尤其是搞前沿科学的，这是必要的、不可少的学习方法之一。

还要补充一点是，各个不同的社会所需要的科技发展是不一样的，能够发展的科技方向也是不一样的。从1971年我第一次访问新中国以后，就不断地提到过，在这里学习物理的中国学生需要花更多力量注意中国所需要的物理方向。我所搞的高能物理，不是中国所急需要的方向，这是费钱而不赚钱的方向。什么样的方向较合乎中国国情呢？譬如说发展固体物理就较合乎中

国国情。农业、化学方面很重要，由于大家公认还未开发的南海油田是世界上最大的油田，中国的石油工业很快变得非常重要，这里需要大量的化工方面的人才。

怎样改进传统的教育方法呢？这涉及到整个社会风气，因而是件困难的事。这件事如果做成功，也是一种革命。这是个比在一门学问里面创造新的学问还要难得多的事。这是根深蒂固的事，不是一两天能改过来的。只能每一个人从自己做起，了解到掌握两种学习方法的必要性，回去教书的时候再去影响自己的学生。中国还有一些另外困难的地方，大学入学考试非常之严，这使得会考试的小孩占了便宜，但中国最需要的恐怕不见得是会考试的人。

21 世纪可能是中国的世纪

——在北京大学接受名誉教授仪式上的讲话(1984 年 12 月 27 日)

本文原载 1985 年 1 月 4 日香港《大公报》。标题为编者所加。

我是在北大校园旁的清华园里成长的。现在的北大校园那时是燕京校园,在这里,我曾在未名湖上溜过冰,体育馆里看过球赛,朗润园、燕园都是我童年时常来玩的地方,今天受聘为这个校园的名誉教授,我自然有特别的感受。

北大的教师中,有我的老师、我的大学同学和中学同学,半个多世纪的千丝万缕的关系更增加了今天这个仪式对我的意义。

尤其重要的,北大是"五四运动"的发源地。那是中华民族史上伟大的一页,受聘为北大的名誉教授,是我的光荣。

1984 年是极不平常的一年,在这一年里发生了许多大事:三中全会的决议,中英联合声明的签字,粮食年产 4 亿吨的记录和中国在奥运会上的成绩。

它们很清楚地显示出,中国这个古老而又年轻的民族已进入了一个新的历史时代。

就拿粮食 4 亿吨一项来讲吧,它横扫了几千年来中国农村饥饿的史实。这真是了不起的成就啊! 西方认为 6 年之内中国农

村产生如此巨大的变化是奇迹。

真是奇迹吗？世界上没有天上掉下来的奇迹。这样巨大的变化是有客观道理的，什么道理呢？

我认为，第一是几千年历史所孕育出来的中国农民的勤劳传统；第二是解放30多年来农民思想意识的变化；第三是6年来稳定的正确指导思想，前两点产生了农村的巨大潜力，第三点奇迹地把这个潜力解放了出来。

近年来，西方观察者几乎一致认为，中国是一个有无比潜力的国家。21世纪可能是中国的世纪。

潜力在哪里？在中国人身上，在年轻人身上，同学们，就在你们身上。在这个伟大的时代里，在这个有重大历史传统的高等学府里，请不要忘记你们就是中国的无比的潜力。21世纪是不是中国的世纪，就要看你们的努力。

创造与灵感

——在香港中文大学与杜渐先生的谈话(1985年1月7日)

本文原载香港《明报月刊》,1985年203期。

杜:杨振宁教授,我很高兴能和你谈谈,想向你提几个问题,请你回答。这次三联书店要出版你的《读书教学四十年》,我有机会拜读了书稿,你的前言写得很短,里面说这本书并不是自传,但在有些方面,也许比自传更有自传性,为什么这样讲呢?

杨:我想,一个人在不同时候的想法,有时候事后他自己也会忘记掉。可是,当时写出来的东西,或当时谈话的记录,后来是不会忘记的。这本书里面多半的文章是从前的一些访问记录,和从前的演讲,我认为,从记录我的想法的真实性讲来,也许比现在写的自传,更有自传性,更多自传的意义。

杜:你在《读书教学四十年》里谈到,科学研究要有自己的风格,我是学文学的,对科学是门外汉,我理解每一个艺术家都有自己的风格,那么科学家是否每个人都有自己独特的风格呢?这是指在学术研究方面的风格吗?这是指哪一方面的呢?

杨:你问的问题是一个很重要的问题,也是学文史的人,学艺术的人所常常不了解的,因为事实上,每一个科学家的工作,确实有他自己的风格。也许这个风格在科学家工作里的重要性,并不亚于艺术家、文学家、音乐家的工作里风格的重要性。科学是

研究事实的，可是事实非常之多，并不是每一个事实都有特别的研究价值。这里面需要选择取舍，问哪一个东西值得研究，还要问哪些不同的研究结果应该综合起来，从中提炼出新的想法，从某个立场上讲起来，其实文学家也有类似的问题：人的感情是多方面的，哪一种感情值得描述；哪些感情是作者个人的，哪些是有普遍性的，文学家通过他对这些问题的了解，就会发展出自己独特的风格。科学家也是一样的，从千千万万的事实里头，找出来某一些共同点，把这些共同点抽出精华来，得出一个整体的了解，这种取舍是决定一个科学家风格的一个重要因素。这跟文学家其实是颇像的，如果把各个不同的科学家的工作拿来比较一下，就会发现他们的取舍方针很不同，他们对于自然现象里的规律和其美和妙的了解不同，这就决定了他们的风格，也由此而决定了他们的工作的重要性。包括面广阔、普遍，又能超越时代性的文学作品，没有问题是比较重要的。包括面广阔、普遍，又能超越时代性的科学贡献，也是比较重要的。所以我说，用风格这个词于科学研究，是完全恰当的。

杜：文学是讲形象思维的，而科学研究是面对事实的，逻辑思维很强。文学家和科学家的思维方法毕竟是不同的，虽然从一个科学家的研究成果可以看出他的风格，但文学家比较执着于感情，同科学家到底是不同的。科学家的思维更注重于事实，也更严密一些。

杨：确实不错，文学家、艺术家，他们的思考里头，他们的工作里头，逻辑性比较弱些；科学的工作里头，不管是哪一行，生物学也好，化学也好，物理学也好，地质学也好，逻辑性确实是比较强的。不过，并不因为这样子，就可以认为科学只有逻辑。科学绝对不是只有逻辑。只有逻辑的科学只是科学中的一部分，而且在讨论科学的创造性的时候，这部分不是最重要的。举个例子，

假如你看见一个树林子，是人工种的，是排得很整齐的一排一排的树，你坐汽车在这些树旁边走过时，会发现从一个方向看，这些树排得很整齐，再往前走，换另一个方向，这些树又排得很整齐。从不同的角度看可以看出不同的规律。同样把一个晶体拿来，从不同的方向看，也可以看出来，规律是逻辑性的，可是科学的创造不只是从每一个方向去发现与了解那个方向的规律，更重要的是要通过想象，通过灵感，一下子同时了解每一个方向的规律。这种更高一层的了解就不只是逻辑思考所能达到的了。

一个初出茅庐的科学工作者，经验不够，工作方向往往还未成形，所以风格常常不大明显。到经验多了以后，论文写得多了以后，往往能发展出特有的风格。这跟艺术家其实是一样的：一个初出茅庐的画家，画出来的画往往还没有自成一格，等他达到炉火纯青的地步，他画的画，就有了独特的风格。

对科学家风格的重要性，也许因为科学的逻辑性很强，一般没有注意到，其实最重要的科学发现并不是用逻辑推理出来的。

杜：那么，换句话说，科学家同艺术家一样，也需要非常丰富的想像力。

杨：对！要有很丰富的想象力，很丰富的别人没有的想象力。比如杜甫的诗里头，常常用了一些字，用法是前人没有想到的，等到你看到了，你会说这用法真好。这跟科学工作是一样的，人家都在用逻辑讨论某个科学问题时，忽然有人从另外一种角度来看这问题，使大家看到原来没有看到的新结构。这跟文学艺术家的创造颇相似的。

杜：我想请教另一个问题，年轻人喜欢看科学幻想小说，这对他们将来的学科学，有害还是有益呢？

杨：我想，科学幻想小说是文学的一种体裁，而且是近代一个重要的文学体裁，一个年轻人看了以后，会增加他活跃的想象

和丰富的幻想，我想是好的。但据我了解还并没有一个人看了幻想小说而得到科学的灵感。这跟武侠小说一样，武侠小说里说某人用指头一指就把别人致死，你可以说这跟激光武器颇像。不错，的确有点像，不过激光的发明绝不是看武侠小说而来的。所以，我认为科学幻想小说应当作一个文学体裁看，而且是一个重要的体裁，尤其是在20世纪、21世纪是重要的文学体裁，因而应该重视，我想这是比较恰当的想法。

杜：美籍华人在研究科学方面，特别是自然科学上，成就很大，在社会科学上就没有那么突出，这是什么原因呢？你在诺贝尔奖宴会演讲辞中说你是中西文化共同培养出来的，一方面继承了中国的文化传统，另一方面又接受了西方的科学知识，两者结合起来。我想了解像你一样受东方文化影响深，会不会妨碍你接受西方文化呢？

杨：你问了几个问题，第一个问题是问为什么在西方中国血统的人，在走进科学、工业、技术方面，成功的比率比较大，走进文学、艺术、社会科学方面，似乎知名的人士比较少？第二个问题是，我从中国的传统出来，会不会对我从事科学工作有妨碍。这两个问题非常有意思，对于第一个问题我的回答是：科学里面对成果的判断是比较客观的，文学、艺术、社会科学里面成果的判断主观的成份比较多。中国人聪明的很多，不只是在科学方面。可是，在科学界假如一个人做出来了一些很好的结果，这结果很快因为客观的道理会被大家接受。在艺术方面情况就不是这样了，而且艺术方面、文学方面，价值标准与社会背景有很深的关系。一个艺术家，一个文学家，在中国的传统中长大，到西方去，要想做出在西方价值观念里头被大家所认识的作品，是比较困难的。幸而这一点现在也在改变。近十年来，中国血统的作家用英文写出来的小说，在西方渐渐被人注意多了。我想这只是一个时间先

后的问题和人的数目多少的问题,并不表示有才能的中国人就不能在西方的文学界占一个很重要的位置。第二个问题,我想这样回答:我自己所受到的教育,从小学开始,已经和西方的教育有很密切的关系了,跟老一代,也就是像我的父亲那一代的经验不一样。我父亲那一代所受到的教育,和西方的接触是比较少的,我讲的不只是他们什么时候念英文,虽然这也是其中的一个因素,我是说譬如什么时候用西方的方法来学习历史、地理。我在小学、中学学习历史、地理的时候,所用的教科书,所用的学习方法,跟西方已经步骤基本上一致了。可是我父亲在小学、中学的时候,还完全没有这种教与学的方法。像我这个年纪的中国人,在做科学研究的时候,已经没有必要全面改变我们的思维方式和意识形态,来适应研究科学的新的要求了。可是比我们早二三十年,也就是19世纪末出生的一代,他们的经历和我们的经历就大不一样了。一个人在20岁以前所学的还是古书上的东西,要让他成人以后接触西方的科学思想和西方的科学方法,他工作起来是比较吃亏的。

杜: 新的一代,像香港的年轻人受西方的教育模式培养,接受西方的科学思想会比较容易些吧?

杨: 完全正确,至少在城市里成长起来的青年人,像香港现在的年轻人,去学习近代科学,我想不会因传统和背景的影响而受到什么大困难的。不过,如果他们研究的是哲学和社会科学,那么中国传统对他们的研究工作多多少少仍会有些影响(这影响不一定是不好的)。但在科学方面,因为科学比较客观,一个在香港长大,在台湾长大,在中国大陆长大,在新加坡长大的年轻人,跟一个美国的孩子,是没有很大的分别的。

不过,讲到这点,我们应该叉到又一个方面来谈谈。从科学的内容讲,中西血统的年轻人学习起来没有多少区别,但是对于

学习态度，中国教育传统和西方教育传统有很大的分别。这个分别是有很重要的影响的。我在《读书教学四十年》这本书中几个访问和一些演讲中，也提到了这个问题。简而言之，中国教育传统训练出来的人，着重稳扎稳打，着重一步一步走，好处是根基非常之稳，坏处是胆子往往变得非常小，裹足不前，觉得不能随便发表意见，先贤先哲做了那么多东西，我是很渺小的，随便发表意见会被人笑话。西方的教育哲学，尤其是美国的教育哲学，在这方面可以说是完全走到了另一个极端。不注重稳扎稳打，着重让每个人自己去发展自己的思考，坏处是很多年轻人根基不稳，常常讲出来的话有很多漏洞，好处是胆子大，天不怕地不怕。这两种教育方法确实有很大的分别，不能说哪个绝对好哪个绝对不好，因为对每一个人，每一个学科，在每一个时候，两者各有利弊。

杜：你刚才谈到价值观的问题，美国人或西方人的价值观和我们中国传统的价值观不一样，你认为美国人对中国人的价值观能够理解吗？

杨：我想有一些是可以理解的，有一些是不可以理解；有一些理性上觉得可以了解，不过并没有真正的认识。反过来也是一样的，中国传统教育出来的人，对于西方有一些事情，可以说是理性上了解，可是并没有把它变成自己的一部分。所以文化传统是一件非常重要的事情，西方和东方的文化传统的确是不大一样的。

杜：你觉得香港的青年应该有什么样的抱负，才能对人类、对民族，作出自己的贡献呢？你对香港的青年读者有什么期望？

杨：我对香港有一些了解，不过我不敢讲一定是正确的。前天我们开了一个会，是讨论香港的大学的教育动向的。有几位这边的教师提出来，今天香港的青年跟从前的不大一样，比较自私，对社会对民族关心得较少。可是我觉得这并不是个那么值得忧

虑的问题。如果一个香港的年轻人能够发挥自己的才能,能使香港地区变得欣欣向荣,应该说他对香港、对民族都已有所贡献了。我所以这么讲,是因为中国的传统,对每个人对社会的责任是非常重视的,从小就讲先天下之忧而忧。相反地西方先天下之忧而忧这种观点是非常少的,甚至是不存在的,可是我们看到也可以通过西方传统产生出来灿烂的文化。我想对于美国的小孩,加重一点社会责任心,是有好处的。可是我觉得今天香港的青年人已有了很多先天下之忧而忧这个观念,似乎没有必要向他们再增加精神压力。这是我自己的意见。

杜:我们每个人都只有一天 24 个小时,你是怎样安排自己的科研,生活和工作?很多人都说:我没有时间看书,我没有时间休息,我希望了解一下你是怎样安排自己的时间?你的时间够不够用?

杨:我想每一个人都会觉得自己的时间不够用,每一个人也都只有 24 个小时一天,每一个人所碰到的事情都很多。最重要的,是要能分辨什么东西是值得注意的,什么东西是不值得注意的。有了正确的分辨力,才能正确地支配时间的使用。

关于亿利达青少年发明奖(1985)

原载上海交通大学校刊《上海交大》,1985年3月5日。

两个多月以前在北京和中国科学院副院长周光召先生谈起中国的升学制度。我们觉得目前的层层考试对会动手但不一定会考试的青少年十分不利。当然这是很复杂的问题,不是很容易解决的。可是我们以为至少应给会动手的青少年一些鼓励,并且设法帮助他们解决升学问题。后来在香港和亿利达工业发展集团有限公司董事长刘永龄先生谈及此事。他非常热心,当时即同意每年捐赠2万元人民币,在北京、上海两市各设亿利达青少年发明奖15名。(每市一等奖1名,2000元;二等奖2名,各1000元;三等奖12名,各500元。)

北京清华大学和上海交通大学已同意主持评奖。

韦耳对物理学的贡献(1985)

本文是作者于1985年在纪念韦耳诞生100周年大会上的演讲。原载中国《自然杂志》1987年9卷11期。由李炳安、张美曼译自作者英文原稿。

一

正如厄斯普朗(Ursprung)主席已经说过的那样，1954年5月韦耳(Weyl)在洛桑作了一次演讲[①]，当时他69岁。这次演讲主要是自传体式的，其重点在于他的思想发展的各个阶段，特别是关于他的哲学思想。这次演讲谈到了韦耳的物理学方面的最初的重要工作：

下一个就我而言是划时代的事件，是我在数学上作出了一个重要的发现。这是关于一个连续介质(例如一片薄膜、一个弹性物体或者电磁以太)的本征频率分布的规律性的问题。这是许多这类想法中的一个。因为专致于科学的年轻人都很可能有一些想法和见解。然而，尽管大多数想法都像肥皂泡一样很快地破灭了，而我所研究的这一想法，却正如简短的检验所表明的那样，它达到了目标。开始，我相当吃惊，因为我并不相信我能解决像这样的一些问题。另外还有下列情况：这个问题的结论虽然在前些时候已被物理学家猜想到，然而对大多数数学家来

说，这一结果似乎是在很遥远的将来才能作出证明的。

当我狂热般地作出其证明时，我的煤油灯已开始冒黑烟。我刚完成其证明，厚厚的煤烟灰就像雨一般地从天花板上开始落到我的纸上、手上和脸上了。

韦耳在这里所谈到的是一件很有趣的工作，这个工作起源于洛伦兹(Lorentz)于1910年在哥廷根所作的Wolfskehl演讲。洛伦兹提出的问题如下②：

最后，还有一个可能会引起在座的数学家们感兴趣的数学问题，这个问题起源于琼斯(Jeans)的辐射理论。

在一个有完全反射表面的包壳中，类似于风琴管的音调，可以形成电磁驻波：我们把注意力集中在很高的谐波上。琼斯问道："在频率间隔 dv 中的能量是什么……"。

就是在这里产生了要证明的下列数学问题：频率在 v 和 dv 之间的充分高的谐波的数目是与包壳的形态无关的，而仅与它的体积成正比。

韦耳是听众中的一位年轻数学家，他接受了洛伦兹的挑战。运用他深邃的洞察力，韦耳总是能应用正确的数学工具去解决一个特殊的问题。他使用了他的导师希尔伯特(Hilbert)所发展起来的积分方程的方法解决了这一问题，在二维情形中，这一问题讨论的是一片薄膜，它像一张边缘用某种固体材料箍紧了的鼓面(见图1)。



图1 鼓面

人们要研究小于 K^2 的本征值的数目 $N(K^2)$，而且兴趣在于求出 K^2 很大时的 $N(K^2)$。此时必须求解下面的微分方程：

$$-\nabla^2 u = K^2 u,$$

这里 $$K = 2\pi\nu / v.$$

对于物理学家来说，其中的 ν 是本征频率，而 v 是波在该薄膜中的传播速度，韦耳证明了

$$N(K^2) \longrightarrow \frac{A}{4\pi} K^2 (\text{当 } K^2 \to \infty \text{时}), \tag{1}$$

这里 A 是薄膜的面积。这样就证实了洛伦兹的猜想：其结果与鼓面的形状无关。顺便提一下，这个问题在物理中是非常重要的，这是因为洛伦兹所提到的琼斯辐射理论导致了普朗克(Planck)的辐射定律，而后者后来又导致了量子力学的诞生。

韦耳这一工作开创了一个新的数学小领域，在其中有过许多活跃的工作。代替对 $N(K^2)$ 的研究，研究

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-K_n^2 \beta} \tag{2}$$

却更为方便。这里 K_n^2 是第 n 个本征值。当 β 比较小时，(2)式所示的求和在 $K_n^2 \gg 1/\beta$ 时，差不多为零，而在 $K_n^2 \ll 1/\beta$ 时，差不多为 1，因而 B 近似地是 $N(1/\beta)$。因此韦耳的结果成为

$$B \longrightarrow \frac{\text{面积}}{4\pi\beta} (\text{当 } \beta \to 0)。$$

现在我们已经知道[②] B 的更精确的估计值：

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-K_n^2 \beta} = \frac{\text{面积}}{4\pi\beta} - \frac{L}{4} \frac{1}{\sqrt{4\pi\beta}} + \frac{1}{6}(1 - r)$$
$$+ (\text{当 } \beta \to 0 \text{ 时，趋于零的项}),$$

公式中第二项正比于鼓的周长 L。因此这一项就不是仅由面积而定了。下一项更有趣味。这是因为它包含有一个表示鼓面上孔的数目的参数 r。因此第三项就与鼓面的拓扑性质有关。

1925—1927年，韦耳深入地从事对李群及其表示的结构的研究。后来他把这些研究看成是他的数学成就的顶峰。虽然作为一个物理学家，在学习他的名著《经典群》以后，我仅熟悉了他的一小部分研究工作，但是我所学到的这些知识已足以使我瞥见了他的这一成就的宏伟、优美和力量。这也使我能体会到在该书第一版(1938)前言中的下面一小段的含义：

> 数学思想可达到的严格的精确性使得许多作者按照这样的一种模式写作，它必定会使得读者感觉到像是被关闭在一个很亮堂的小室之中，在其中每一个细微之处都以同样的眩眼的清澈伸展出来，但是景色却单调平淡。我却喜欢在晴空下的开阔景色，因为它有景象深度，附近由鲜明轮廓确定的大量细节逐渐消失在地平线处。

确实，这一小段叙述非常清楚地表达了韦耳在智力上的偏爱，它对韦耳在数学和物理学方面的研究风格有着决定性的影响。

当韦耳对李群开展深入研究时，在物理学中发生了一场伟大的革命，这就是量子力学的发展，虽然我们也许永远不会知道韦耳对这一发展的最初反应，但是他不久就投身其中，并对新力学的数学结构进行研究，这就产生了他在1927年发表的文章③和后来的著作《群论和量子力学》④。(最近斯派泽(Speiser)撰文论述了韦耳的这两个贡献⑤。)这本书与维格纳(Wigner)的一些文章和《群论及其在原子的量子力学中的应用》一书一样，都有助于把群论引入到量子力学的语言中去。

韦耳是数学家和哲学家。他喜欢与概念及概念之间的联系打交道。他的书《群论和量子力学》是非常有名的，而且被认为是极为深奥的。虽然差不多每一位在1935年之前出生的理论物理学家在他的书架上都有这一本书，但是几乎没有人读它：大多数

人对于韦耳将注意力集中在物理的结构方面这一点不习惯，并且对他对概念的强调也感到不自在。对于大多数物理学家来说，这本书是太抽象了。

1930 年这本书的德文新版本出版了，他在前言中写道：

> 质子和电子的基本问题已经用其与量子定律的对称性性质的关系来讨论了，而这些性质是与左和右、过去和将来以及正电和负电的互换有关。现在似乎还看不到这个问题的解决；我担心悬在这一课题上的乌云会滚动到一处而形成量子物理中的一个新危机。

回顾起来，这是一段非常令人惊奇的文章。韦耳在这里提到的物理定律关于左右互换的对称性，在此以前已由韦耳和维格纳(Wigner)各自独立地引入到量子物理中。这种对称性被称为宇称守恒，用符号 P 表示。人们在 1930 年对过去和将来之间的对称性还没有很好理解。后来维格纳懂得了这种对称性(称为时间反演不变性)，且用符号 T 表示这种互换。关于正负电的对称性后来称为电荷共轭不变性，且用 C 表示电荷共轭变换。这是一种当你改变电的正负号时，物理定律的一种对称性。就我所知，在 1930 年没有人，绝对没有人以任何方式猜疑到这些对称性是以某种方式相关的。仅仅在本世纪 50 年代人们才发现了它们之间的深刻联系。在下面我将再回到这一点上来。是什么激起了韦耳，使他在 1930 年就写了上面这一段话？至今对我来说还是一个很大的谜。

韦耳称之为危机的“质子和电子的基本问题”是由狄拉克(Dirac)于 1928—1930 年引进的。当时狄拉克论证了电子应由某一方程(现在称为狄拉克方程)来描述。狄拉克立即受到了抨击。这是因为在他的方程中有一些显然没有意义的解：它们具有

非物理的负能量。于是狄拉克十分大胆地假设：在通常情况下所有的负能态都被填满了，因而是观测不到的，仅仅当电子的“负能量海”中出现空位时人们才可以观测到与电子有相反电荷的某种东西，他认为这样的一个空穴应是一个质子。在当时所知道的粒子中，也只有质子的电荷与电子相反。

韦耳在他的《群论和量子力学》一书的第二版中详细地研究了这一假说，并得出了下列结论：

> (狄拉克的假说)导致了在所有的情形中正电和负电在本质上的等价性。

他进一步推断出空穴与电子应有相同的质量。韦耳的这些结论和其他人的工作一起导出下列两种见解：空穴是正电子(1932年实验发现了正电子)；质子是另外一种粒子，它有它自己的负能态，在它的负能态中的空穴是反质子(1955年实验发现了反质子)[5]。

韦耳关于正负电“本质等价”的推论是电荷共轭不变性 C 这一重要概念的先驱，而后者一直到1937年[6]才完全确定下来。

我在前面曾讨论过 P、C 和 T 这些分立对称性。在这三者之中，韦耳最为关注的显然是左右之间的对称性。在他的《数学和自然科学中的哲学》一书(1926年发行了德文初版，1949年出版了英文译本)中，关于左和右韦耳说了这样一段话：

> 左和右。如果我要说出最基本的数学事实，也许我应该从事实(F_1)开始，这个事实说的是不管以什么样的次序去数一组元素，我们都能得到同样的数目。要讲的第二个事实(F_2)是：在 $n(n \geqslant 2)$个东西的所有置换中，我们可以区分出偶置换和奇置换。所有的偶置换构成的群是所有的置换构成的群的一个指数为2的子群。上述的第一个事实是维数的几何概念的起

因，而第二个事实是“指向”(sense)这个概念的根源。

确实左右对称性或宇称守恒对物理学家来说是一个如此“自然”和有用的概念。在过去它一直是作为一条神圣的自然定律而被认为是当然的。1957年，在韦耳逝世不到两年时，令人们感到惊奇的是吴健雄、安布勒(Ambler)、海沃德(Hayward)、霍普斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson)发现左右对称性毕竟不是被严格遵守的物理定律[⑥]。其破坏效应虽然是小的，但是只要你知道在哪里可找到它，那么它是可以观察到的。有趣的是，韦耳在1952年写了一本题为《对称性》的精美小书。按斯派泽[⑤]所说，韦耳把这本书看成是他临去世之前的最后著作。在这本书中，我们可以读到如下片段：

> 因为与东方艺术形成对照的西方艺术，如同生活本身一样，倾向于减低、放宽、修改，甚至于去破坏严格的对称性。但是，不对称在罕见的情况下才等于没有对称。即使在不对称的图像中，人们仍感觉到对称是一个准则。依此人们在一种要实现不匀称性质的推动力的影响下将偏离这一准则，我想那一张取自科奈托(Corneto)的崔克利尼姆(Triclinium)的著名的埃图斯肯人(Etruscan)的墓碑上的骑士图就提供了一个很好的例证(图2)。

我真想知道，如果韦耳能再多活两年的话，那么关于自然定律的左右对称有轻微的、但却是很重要的破坏，他会说些什么呢？

现在让我来谈一下韦耳的另一件始于1929年的工作，即韦耳的二分量中微子理论。1929年韦耳在他的一篇十分重要的文章[⑦]中创立了这个理论。这篇文章我在后面还将谈到它。这一理论是作为一种能满足大部分物理要求的一种数学可能性而提出来的，但是因为这一理论不满足左右对称性，韦耳本人和后来

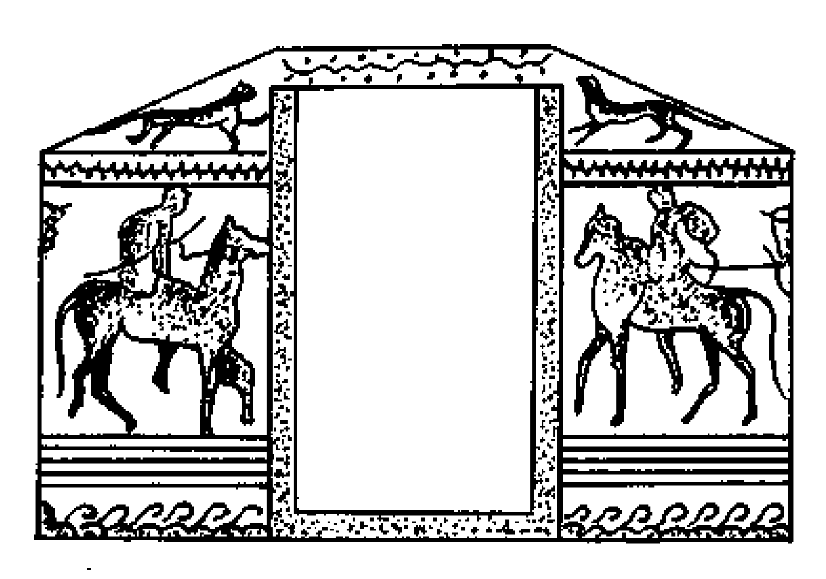


图 2　骑士图(取自韦耳的《对称性》)

的物理家就摒弃了它。1957 年当人们认识到左右对称并不是严格正确的时候，韦耳的这一理论应立即加以重新考察，这一点就变得很清楚了。人们就这样做了，而且后来由理论和实验证实了这个理论确实正确地描述了中微子。粗略地说，情况大致如此，在原先的中微子理论中，中微子有 4 个分量，即左手中微子 v_L、右手中微子 v_R、左手反中微子$\bar{v}_L$ 和右手反中微子$\bar{v}_R$。在韦耳的中微子理论中仅有两个分量，即左手中微子 v_L 和右手反中微子 $\bar{v}_R$。这个理论是左右不对称的。这是因为如果你作一个反射，那么左手中微子会变成右手中微子，而右手中微子 v_R 在两分量中微子理论并不存在。因此，正是韦耳中微子的存在破坏了左右对称性。由于中微子与宇宙中所有其他粒子都有很弱的耦合，我们就把这个破坏称为弱破坏。

CPT 定理是这个领域中另一个非常重要的进展，它是场论中的一个基本定理，其证明是在 1953—1955 年[8]完成的，由于 *P* 不变性破坏的发现，*CPT* 定理在讨论破坏的模式时开始起极重要的作用了。这又使我不禁想知道，如果韦耳再多活两年，能活到1957 年的话，他对 *CPT* 定理会说些什么呢？这不仅是

由于正如我在前面所引的那样，他在1930年就不可思议地仅在一句话中全部写下了 C、P 和 T 这三种对称性，也是由于乔斯特(Jost)[9]曾给出了这个定理的一个更为深刻的基础，而这个基础涉及到洛伦兹群和解析延拓的概念，这正是韦耳会感到分外亲切的课题。

二

韦耳对物理学的第二个贡献是我将要讨论的规范理论。韦耳对规范理论的工作分为三个时期，现在我将分别加以讨论。

在第一个时期中，我们找到了三篇文章[10][11][12]，它们都是在1918—1919年完成的，其中的第二篇文章最为重要，而事实上这篇文章的精神贯穿于他的科学生活。当他提到规范理论时，他总是引用这篇文章。在他的著作《空间，时间，物质》的各种版本的前言中和他在1917—1919年发表的文章里，我们可以查索出他在那个时期的思想背景。这显然是受到了爱因斯坦关于引力的工作(1916)及受到了希尔伯特、洛伦兹和克莱茵(Klein)的工作的鼓舞，看来韦耳当时正在寻找一个既能包括引力，又能包括电磁力的几何理论。他也受到梅(Mie)的影响。1912—1913年，梅试图去构造一个在电子内部不含有发散场量的电子理论。

在文章[11]的开始几段中，韦耳说，尽管爱因斯坦的引力理论依赖于二次微分形式，然而电磁理论却依赖于线性微分形式 $\sum \varphi_\mu \mathrm{d}x_\mu$（用现行的记号来表示，则为 $\sum A_\mu \mathrm{d}x^\mu$），紧接在后面的重要的话是[13]：

列维-西维塔(Levi-Civita)、海森堡(Heisenberg)和作者稍后的工作，十分清楚地表明了：如果黎曼几何要与自然相一致，那

么它的发展所必须基于的基本概念应是矢量的无穷小平行移动……。但是一个真正的无穷小几何必须只承认一个长度从一点到与它无限地靠近的另一点转移的这一原则。这就禁止我们去假定在一段有限的距离内长度从一点转移到另一点的问题是可积的，尤其是当方向的转移问题业已证明是不可积时更不能这样假定。那样的假定被看成是错误的，一种几何产生了，它……也……解释了……电磁场。(加点是原文中有的)

这样，不可积标量因子的想法[14]就延生了。这一因子出现在韦耳的一篇文章[10]中，明晰地写出来便是

$$e^{\int_P^Q d\varphi} \tag{3}$$

接下来韦耳提出将一个梯度 $d(\log\lambda)$ 加到 $d\varphi=\sum\varphi_\mu dx_\mu$ 上去将不应改变理论的物理内容，由此得出了

$$F_{\mu\nu}=\frac{\partial\varphi_\mu}{\partial x_\nu}-\frac{\partial\varphi_\nu}{\partial x_\mu} \tag{4}$$

具有"不变的意义"。于是他自然地把 $F_{\mu\nu}$ 等同于电磁场，同时令

$$\varphi_\mu=\text{常数}\cdot A_\mu, \tag{5}$$

这里 A_μ 是电磁势。这样，在这个理论中，电磁学就在概念上被纳入到一个不可积标量因子的几何想法(3)之中。

该理论在变换 $d\varphi\to d\varphi+d(\log\lambda)$ 下的不变性导致韦耳引入了"Masstab-Invarianz"[11] 这一德语名称，译成英语[13][15]后为"measureinvariance"(测定不变性)和"calibrationinvariance"(刻度不变性)。后来，这个名称的德语词为"Eich Invarianz"，而其英语词变为"gauge invariance"(规范不变性)[15]。

1918 年当韦耳的文章[11]发表在 *Sitzber Preuss. Akad. Wiss.* 上

时，在这篇文章的末尾附有爱因斯坦写的一个按语和韦耳的一个回答。这一不寻常情况的出现，按照亨德里(Hendry)[17]所述，是因为虽然起初爱因斯坦对韦耳的预印本有很深刻的印象，但是后来他却强烈地反对这篇文章。内恩斯特和普朗克显然与爱因斯坦持有相同的异议，他们代表柏林科学院要求把爱因斯坦的意见作为一个按语加在韦耳的文章后面。

爱因斯坦所持的异议的精髓是什么？爱因斯坦做了下面的论证：如果韦耳的不可积标度因子的想法是正确的话，则可取两个钟，且从同一点 O 出发，让它们分别沿不同的路径回到同一点 O，那么它们的标度将会连续地变化。因此在它们回到 O 点时，由于它们经历了不同的历史，一般来说，它们将会有不同的大小。所以这两个钟的快慢将会是不同的。因此钟对时间的测量要依赖于它的历史。爱因斯坦争辩道，如果情形果真如此，那么由于每个人都将有他自己的定律，因而就没有物理可言，而且将有种种混乱。同时附在这篇文章上的韦耳的回答并没有真正解决这一困难。1918—1921 年韦耳又好几次回到这一课题上[18,19]。虽然他没能解决这个问题，但是他的尝试清楚地表明他仍然专心于他原来的想法。在 1949 年当讨论爱因斯坦发现广义相对论之后的一些事件时，韦耳写了下面的这一段话[20]，也许从中可看出他当时的心情：



图 3　爱因斯坦的假想实验

> 在苏黎世的一只孤独的狼——韦耳，也在这一领域内忙碌着；很不幸，他太易于把他的数学与物理的和哲学的推测混合在一起了。

泡利也拒绝接受韦耳的理论，但他较多地是出于哲学上的考

虑。按照梅拉(Mehra)、雷亨伯格(Rechenberg)[21]和亨德里[17]的说法，泡利所持的异议对以后要着重于“可观察量”是极为重要的。而这种“可观察量”会在1925年海森堡发现量子力学时起关键性的作用。

现在我们来讨论韦耳的规范理论的第二个时期。1925—1927年在物理中发生了一场与韦耳的规范理论毫无关系的革命，这就是量子力学的诞生。量子力学的一个重要观点是动量 p_μ 变成微分算符 $-i\hbar\partial_\mu$。在1927年，福克(Fock)和伦敦(London)各自独立地指出：如果用 $-i\hbar\partial_\mu$ 代替 p_μ，那么类似地也应用

$$-i\hbar\partial_\mu-\frac{e}{c}A_\mu=-i\hbar\left(\partial_\mu-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu\right) \tag{6}$$

来代替量 $p_\mu-\frac{e}{c}A_\mu$。(早已知道量 $p_\mu-\frac{e}{c}A_\mu$ 在带电粒子的动力学中是很重要的。)在伦敦的题为《韦耳理论的量子力学意义》一文中，他指出(6)式中所示的表达式 $\partial_\mu-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu$ 类似于韦耳理论中的表达式 $(\partial_\mu+\varphi_\mu)$，所以代替(5)式我们应有下面的等同：

$$\phi_\mu=-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu. \tag{7}$$

现在 $\frac{e}{\hbar c}$ 是一个数字常数。因此除了嵌入一个因子 $-i$($i=\sqrt{-1}$)外，(7)式实际上与韦耳原来的等同(5)是一样的。

这个因子的嵌入虽然在形式上是平庸的，但它却有着深刻的物理结果。这是因为它把不可积标度因子(3)的意义改变为

$$\exp\left\{-i\frac{e}{\hbar c}\int_P^Q A_\mu \mathrm{d}x_\mu\right\}. \tag{8}$$

而(8)式所表示的是一个不可积的相因子。因此假如通过嵌入一

个$-i$[22]而把标度因子的想法变为相因子的话，那么韦耳的理论就是量子力学中的电磁理论。

福克和伦敦在1927年尚无清晰的**规范变换**(也就是相变换)的概念，这个概念是韦耳于1929年在他的那篇决定性的文章[7][24]中确立的。现在我从他1929年发表的另一篇有关的文章[25]中摘录一段：

> 由于这一新的情况，即将原子半径引入了场方程本身之中(实际上在这一步之前)，我曾希望用以将引力和电磁力联系起来的规范不变原理就丧失了支持，但是现在令人喜悦地看到，这一原理在量子理论的场方程中有一个在形式上恰恰与它一样的等价物，在用$e^{i\lambda}\psi$代替ψ，同时用$\varphi_a-\dfrac{\partial\lambda}{\partial x_a}$代替$\varphi_a$的变换下，定律是不变的，这里$\lambda$是位置和时间的一个任意实函数。还有这一不变性与电荷守恒定律之间的关系仍与先前完全一样……。电荷守恒定律
>
> $$\frac{\partial\rho_a}{\partial x_a}=0$$
>
> 由电磁方程组以及物质方程组得出。规范不变性原理具有广义相对论的特征，这是因为其中包含了一个任意函数λ，而且也只有借助于它，这一原理才能予以理解。

韦耳在这一段话中强调了**流密度**ρ_a及其散度为零是电荷守恒定律的基础。这是他早在1918年所说的那段话[13]的回响：

> 因为我们将证明：如同根据希尔伯特、洛伦兹、爱因斯坦、克莱茵和作者的研究所得出的，物质(即能量—动量、张量)的四个守恒定律是与作用量(包含四个任意函数)在坐标变换下的不变性联系在一起的那样，电荷守恒定律同样也是与“测度不变性”

相联系在一起的。

然而在1929年他进一步发展了这个想法并把它表述为流密度的零散度性。用今天的物理语言来说，这就是**定域流守恒**。以后由泡利对此加以精心研究(见注㉓P111，和注㉖)，而且它对我的思想有很大的影响，这在后面我们将说到。

从韦耳1929年文章中摘录的那一段话也包含了一些很有启发性的内容，即他将规范不变性和广义相对论很紧密地联系在一起。这当然是很自然的，因为这个思想本来就起源于韦耳在1918年想把电磁力和引力统一起来的努力。20年后，当我和米尔斯(Mills)[27][28]对非阿贝尔规范场进行研究时，我们的动机完全是与广义相对论无关的，仅在本世纪60年代晚期我才清楚地认识到非阿贝尔规范场与广义相对论在数学结构上的类似性，而且搞清了它们在数学上都是**联络**[29]。

在继续讨论以前，让我们问一下，由量子力学建立的考虑，在标度因子(3)中嵌入了一个 $-i$，而使它变为一个相因子(8)以后，爱因斯坦原先所持的异议现应如何解释呢？在1929年之后，直到1983年我研究了这一问题[30]前的这一段时间中，明显没有人再去看一下爱因斯坦的异议。其结果是很有趣的，而且也许值得把它当作科学史上的一个附注：让我们讨论图3所示的爱因斯坦的假想实验。当两个钟回到出发点，由于嵌入的因子 $-i$，它们不会有不同的标度，但有不同的相位。这不会影响到钟的快慢。因此，爱因斯坦的异议就不复存在了。但是你可以提一个深一层的问题：能否测量它们的相位差？好，为了测量相位差我们就必须做一个干涉实验。没有人知道如何用像钟那样大的物体去做干涉实验。不过，可以用电子来做干涉实验。因此让我们把爱因斯坦的假想实验变为另一个实验：让电子沿两条不同的路径回到同一原点，并问：此时是否能测量出相位差？回答是肯定的，事实上

这是1959—1960年间的一个极为重要的进展，当时阿哈罗诺夫(Aharonov)和博姆(Bohm)[31]，完全与韦耳独立地认识到在电磁学中还有一些过去没有理解的东西。我们提出的恰恰就是这个实验，稍加变化的只是插入一个内含磁通量的螺线管(见图4)。改变磁通量即可操纵两条路径之间的相位差。1960年钱伯斯(Chambers)[32]完成了这个实验。在参考文献[33]中可以找到对这个实验的意义的分析，以及它与把不可积相因子(8)等同于电磁学本质的关系的分析。在文献[30]中可以找到对其他与阿哈罗诺夫—博姆效应有关的一些实验的讨论。



图4　阿哈罗诺夫—博姆实验
S是一螺旋管，其中磁通量垂直于纸平面

韦耳研究规范理论的第三个时期是从1930年到他逝世的1955年。在整个这个时期中可以发现，韦耳在他的许多文章中都提到规范理论。例如，在1931年一篇题为《几何和物理》的文章中他就提到了规范场。在1944年一篇题为《在平直时空中引力的线性场论可以走得多远?》的文章中他又提到了它。如果需要另外的证据来说明韦耳对规范思想有深情的话，那么我们可以看一下他在1955年去世前6个月，把他的1918年规范理论文章[11]收入他的《选集》时写的跋。在这一跋中人们可以看出他再一次所清晰地表明的，他对这个想法如此热诚的理由[34]：

> 我的理论最强的证据似乎是这样的：就像坐标不变性保持能动量守恒那样，规范不变性保持了电荷守恒。

三

韦耳的理由也已成为规范理论中的一组美妙的旋律，当我在

做研究生，正在通过研读泡利的文章[24][25]来学习场论时，韦耳的想法对我有极大的吸引力。当时我做了一系列不成功的努力，试图把规范理论从电磁学推广出去[26]，这种努力最终导致我和米尔斯在 1954 年合作发展了非阿贝尔规范理论[27][28]。在文章[27]中我们如下地陈述了我们的动机：

> 与电荷守恒相类似，同位旋守恒表明了存在着一个基本的不变性定律，在前一种情形里，电荷是电磁场的源；在这种情形中的一个重要的概念是规范不变性，它与下列三点紧密相联：(1)电磁场的运动方程，(2)流密度的存在，(3)在带电场和电磁场之间可能有的相互作用，我们尝试了将这个规范不变的概念推广应用到同位旋守恒上。结果发现有可能实现一个十分自然的推广。

其中第(2)条就是上面已提到过的那一优美的旋律。另外两个旋律(1)和(3)在 20 世纪的 50 年代早期都已变得相当紧迫了。在当时发现了那么多新粒子，而物理学家们必须知道它们彼此之间是怎样相互作用的。

1949 年，当我作为一个年轻的"成员"来到普林斯顿高级研究所时，我遇见了韦耳。在 1949—1955 年的那些年月里我常常看到他。他是非常平易近人的，但是我现在已不记得是否与他讨论过物理或数学了。在物理学家中没有人知道他对规范场思想的兴趣是锲而不舍的。无论奥本海默还是泡利都从未提到过这一点。我猜想他们也没有把我和米尔斯在 1954 年发表的一些文章告诉他。如果他们告诉了他，或者他由于某种原因偶然发现了我们的文章，那么我会想象得出，他一定会很高兴，而且是很激动的。因为我们把他所珍爱的两件东西——规范场和非阿贝尔李群放在一起了。

李群是一些数学对象，它既与日常用语中的对称性概念，又与物理学语言中的对称性概念深深地相关着。可以说它们是表示对称概念本质的（至少是其主要部分的）数学结构。我敢于猜想韦耳对对称性的喜爱（这我在前面提到过）源于他对非阿贝尔李群的结构的深刻洞察力。

由于理论和实验的进展，人们现已清楚地认识到，对称性、李群和规范不变性在确定物理世界中的基本力时起着决定性的作用。我已把这个原则称为**对称性支配相互作用**[37]。此外，虽然在这些进展中我们已取得巨大的成功，然而，我们离开大统一还很远，这是十分令人激动的。我相信这是由于我们对**对称性**这个词的含义还未完全理解，而且另外的关键性的概念还未找到。在这一点上，读一下一个世纪前麦克斯韦当他讨论了法拉第的力线和物理中数学思想的认识论起源[38]时，写下的下面一段话是很有兴味的：

> 从欧几里得的直线到法拉第的力线，这是使科学得以向前推进的一些思想的特征。而且通过自由地应用几何概念和动力学，我们可以期待进一步的发展。……我们很可能连在我们正在收集的材料中将要发展起来的那门科学的名字都会是不知道的……

在一个世纪之后，在对自然界的不断深入了解方面，我们现在能像麦克斯韦那样，对今后的巨大发展充满希望，这着实是令人振奋的。

四

上面我罗列了韦耳对物理学的一系列贡献以及这些贡献对后来的发展的影响。但是这一些仅是他关于物理的思想中的一

小部分，了解这一点是很重要的。作为一个物理学家和哲学家，韦耳在空间、时间、物质、能量、力、几何、拓扑等方面写了大量文章，它们都是一些关键性的概念，为现代物理的创立奠定了基础。当阅读韦耳的文章时，看到他如此努力地通过数学构造去解开物质和空间结构之谜，我总是感到震惊。我们在他的1924年的一篇题为《什么是物质?》的文章中可以找到一个很有趣的例子。在这篇文章中他提出了关于物质中拓扑结构的问题⑨，这是目前极为风行的一个课题。

韦耳的文章写得很美，我不知道他是否也写过诗，但是他确实很喜欢读诗。1947年，在他的《数学和自然科学中的哲学》一书的前言中他引用了埃利奥特(T.S. Eliot)的诗：

少年时离开家乡，

随着我们年龄的增长，世界变得陌生，死和生的模式更是错综复杂。

我敢说，如果韦耳回到今日的世界，他会在物理和数学的那些激动人心、错综复杂以及详尽的发展之中，发现有许多基本的东西他是十分熟悉的，他帮助创立了它们。

注和参考文献：

下文中的GA表示H. Weyl的论文全集，Vol. Ⅰ至Ⅳ(Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1968)，K. Chandrasekharan编。

① Weyl, 1954;GA Ⅳ, p.636.英译本：*The Spirit and the Uses of the Mathematical Sciences*, T.L. Saaty和F.J. Weyl编(McGraw-Hill, New York, 1969), p.286.

② 参看M.Kac, *Am*, *Math*. *Monthly*, 73, 1(1966).

③ Weyl, 1927;GA Ⅲ, p.90.

④ H. Weyl, *Gruppen Theorie und Quantenmechanik*, preface to first

German edition dated August 1928.

⑤ David Speiser, *Gruppen Theorie und Quantenmechanik, the book and its position in Weyl's work*, preprint from the Institute of Theoretical Physics, Catholic University of Louvain, Belgium.

⑥ 关于这一段历史请参看 Yang⑯, P. 236;也可以参看 C. N. Yang, *The Discrete Symmeties P, T and C, JA*.参看㉔。

⑧ 关于这段历史请参看上面的⑥。通常引用的 *CPT* 定理的出处是施温格(*Schwinger*)、吕德斯(*Lüders*)和泡利的文章。泰勒格第(*V. Telegdi*)好心地告诉我,贝尔(*J. S. Bell*)对此也有重要贡献。*J. S. Bell, Proc. Roy. Soc. (London), A* 231, 479(1955).

⑨ *R. Jost, Helv. Phys. Acta*, 30, 409(1957).

⑩ *Weyl*, 1918; *GA* Ⅱ, p. 1.

⑪ *Weyl*, 1918; *GA* Ⅱ, p. 29.

⑫ *Weyl*, 1919; *GA* Ⅱ, p. 55.

⑬ 这里我引用了收在由 *H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski* 和 *H. Weyl* 合编的 *The Principle of Relatirity* 中的文献⑪的译文,它由 *W. Perrett* 和 *G. B. Jeffery* 翻译(1923 年由 *Methuen and Co.* 首先出版,1952 年 *Dover Publications* 重印)。

⑭ 在 1950 年,当韦耳回顾相对论的 50 年时(*GA* Ⅳ, P·421),他谈到他 1918 年的想法时说:如果一个矢量沿着一条封闭的回路回到原来的位置时会改变它的方向,"为什么它的长度不同样改变呢?"

⑮ 参看⑯, p. 528.

⑯ *Chen Ning Yang, Selected Papers 1945 ~ 1980 with Commentary* (Freeman and Co., 1983).

⑰ J. Hendry, *The Creation of Quantum Mechanics and the Bohr-Panli Dialogue* (Reidel Publishing Co., 1984).

⑱ 参看韦耳、泡利和爱因斯坦在 Bad Nanheim 的讨论记录,*Phys. Z.*, 21, 649~651(1920).

⑲ Weyl, 1921; GA Ⅱ, p. 260.

⑳　Weyl, 1949; GA Ⅳ, p.394.

㉑　J. Mehra and H. Rechenberg, *The Historical Derelopment of Quantum Theory*, Vol.2, Chapter 5(Springer-Verlag, 1982).

㉒　关于这段历史请参看⑯, P.525, 对于不可积相因子的物理意义的分析见⑬, 我仅在1967—1968年间才想到"不可积"相因子的概念(见⑯, P.73)[直到1983年,我才知道,韦耳早在1918年就从不可积相因子的概念(3)出发,而且开始用了微分形式$\partial_\mu + \phi_\mu$]。从认识论来看,这个故事很有趣,而且它表现了韦耳的物理思想的风格。与物理学家不同,韦耳从积分方法入手,进而到微分方法。我和米尔斯是物理学家,我们从泡利㉓那里学到了微分方法,并在很长时间以后才体会到也可以从积分形式出发。

㉓　W. Pauli, in *Handbuch der Physisk*, 2 Aufl. 24 Part 1(1933).

㉔　Weyl, 1929;GA Ⅲ, p.245.

㉕　Weyl, 1929;GA Ⅲ, p.229.

㉖　W. Pauli, *Rev. Mod. Phys.*, 13,203(1941).

㉗　C.N. Yang and R.L. Mills., *Phys. Rev.*, 95, 631(1954). Reprinted in ⑯p.171.

㉘　C.N. Yang and R.L. Mills, *Phys. Rev.*, 96,191(1954).

㉙⑯　的p.73. 回顾起来,规范场概念从广义相对论中分离出来是有益的,因为这使得我们可以在一个时间集中在一个问题上。

㉚　Chen Ning Yang, in *Proc. Int. Sym. Foundations of Quantum Mechanics* (Tokyo, 1983), S. Kamefuchi, H. Ezawa, Y. Murayama, M. Namiki, S. Nomura, Y. Ohnuki 和 T. Yajima 编, p.5(Phys. Soc. of Japan, 1984).

㉛　Y. Aharonov 和 D. Bohm, 115, 485(1959)。也参看 W. Ehrenberg 和 R.E. Siday, *Proc. Phys. Soc.* London, B62,8(1949).

㉜　R.G. Chambers, *Phys. Rev. Lett.*, 5,3(1960). 在这一方面,请参看㉚中对与阿哈罗诺夫-博姆效应有关的其他实验的讨论。

㉝　Tai Tsu Wu and Chen Ning Yang, *Phys. Rev*, D12,3845(1975).

㉞　Weyl, 1955;GA Ⅱ, p.42. 与韦耳截然相反,泡利在晚年时,他对规

范场的概念持否定态度[35]，1956年泡利为他的1921年的文章《相对论理论》的英译本写了一系列的补充注释，在《韦耳理论》这一条目中，与他1921年的原始德语文章相比，他对韦耳理论的评价没有更多的肯定。

㉟ 参看佩斯(A. Pais)将要出版的关于基本粒子物理历史的书和恩兹(C.P. Enz)论泡利的文章(1985年6月在芬兰约恩苏物理学基础讨论会上的报告)。也可以参看㊱。

㊱ 见⑯，p.19.

㊲ 见⑯，p.563.

㊳ J.G. Maxwell, Scientific Papers, Vol.2, No.61(Cambridge Univ. Press, 1890).

㊴ Weyl, 1924;GA Ⅱ，p.510.

对汤川秀树 1935 年的论文的评价

本文是作者于 1985 年在日本京都纪念汤川秀树介子理论发表 50 周年大会上的演讲。原载 Chen Ning Yang. Remarks on the 1935 Paper of Yukawa. Progress of Theoretical Physics. Supplement ＃85, pp11-12(1985). 中译文载中国《自然杂志》1987 年 9 卷 11 期。译者李炳安、张美曼。

今天我们聚集在这里庆祝汤川秀树(Yukawa)1935 年的那篇十分惊人的文章发表 50 周年。首先,我从下面四个方面来阐述这个工作的基本想法。

(1) 这个工作提出了一个后来被称为介子的新粒子。在当时这个设想是十分大胆的。这一点可以从狄拉克(Dirac)对 30 年代初物理学界中的气氛的评论中看到。他说:

> 在那些日子里,舆论的气氛很强烈地反对提出新粒子的设想。①

也许出于一种以最经济的办法构成物质的信念;也许人们认为对于应该严肃考虑的问题引入新的粒子是太随便的处理。总之,当时的主导气氛是强烈地妨碍新粒子提出的。

(2) 这个工作提出了一种传递核力的新机制。我们认为核力的传递是当时基础物理的中心课题之一。许多物理学家,包括海森堡(Heisenberg)、塔姆(Tamm)和伊凡年柯(Iwanenko)都对

它进行过研究，可是他们当中谁也没有想到汤川秀树的这种想法。1936—1937年，贝特(Bethe)写了一篇著名的关于核物理的长篇评述文章[2]。在文章中他详细地讨论了塔姆和伊凡年科在1934年的工作。贝特注意到这些工作者得到的核力比将原子核束缚在一起所需的核力小得多。对于克服这一困难的三种可能性，贝特作了尽可能详尽的讨论。他显然没有注意到汤川秀树1935年的文章，在他讨论的三种可能性中，没有一种涉及到核力是由一种新粒子传递的这一概念。

(3) 在这工作中，汤川秀树用克莱茵(Klein)—戈登(Gordon)方程将中间粒子的质量与核力力程联系起来。汤川秀树在他的自传《跋涉者》中，将这一关系的发现过程描述如下：

> 在10月的一个晚上，我想起一个重要的观点，核力仅在很小的距离(约 0.02×10^{-12} 厘米)才有效地起作用。我熟知这一点。我的新见解是领悟到我正在寻觅的新粒子的质量和核力力程间是具有反比关系的。为什么我以前没有注意到这一点？第二天早晨我处理新粒子质量问题时发现它大约是电子质量的200倍，而且这个新粒子必须具有与电子符号相同或相反的电荷。

那创造时刻的喜悦，栩栩如生地呈现在这段对50年前发生的事情的平静描述之中。

(4) 这个工作提出了 β 衰变的机制。这个提议的带电的形式就是中间玻色子假说。带电中间玻色子 $W^{\pm}$ 在1983年的发现应被视为在这条发展线索上的最新的大成功。

汤川秀树在1935年的文章是我们这一领域中的一个里程碑。不仅如此，它的重要性远远超出了粒子物理这一狭窄的范围：汤川秀树和他的弟子们，如坂田(Sakata)、武谷(Taketani)和

小林(Kobayashi),开创了一座日本物理学校,这个学校不仅在物理方面,而且也在其他有关领域,培养了许多年轻一代的科学家。汤川秀树在年轻一代中影响是巨大的。可以毫不夸张地说,由于汤川秀树 1935 年的文章,他对今天的日本,这个生气勃勃的高效率的工业社会,作出了巨大的贡献。

注:

① Dirac P. A. M., *The Birth of Particle Physics*, Brown L., Hoddeson L. ed., Cambridge U.P.(1983).

② Bethe H. A. *et al*., *Rev. Mod. Phys*., 8(1936)82; 9(1937)69, 82, 245.

关于中国科技的发展(1986)

本文是作者于1986年5月应中国科学技术促进发展研究中心邀请发表的谈话。原载1986年10月4日中国《科学报》,原标题为《杨振宁教授谈中国科技发展》。本标题为编者所改。

一、科技体制改革是非常对的

去年发表的科技体制改革原则是非常对的。据我了解。总体原则大概国内很多人支持,而细节上有很多人反对。科技体制改革与中国的计划生育有点像,只能从大的原则上决定政策,在小的地方给予细致的考虑。但这个事情必须要做。

人才流动问题我已多次谈过。中国过去存在的一个很大问题:就是人才不流动。现在科学院和大学里人才流动与1978年以前完全不同,但还没有达到像西方、像日本那样流动的程度,还要继续努力。

我认为影响中国科技人员发挥作用的具体原因主要是个投资问题。中国过去有平均主义,各个研究机构人员太多。搞尖端科研,要有独立的见解,不是通过讨论能解决的。中国不把平均主义取消,问题很难解决。

二、中国科技发展最重要的目的是提高经济水平

中国科技的发展，最重要的目的是提高经济水平；其次，在不花大钱的情况下，争取出一些国际上第一流的人才。在科学上由于种种特殊原因，有些中国可以做得好，有些一时做不好，应该选择一下。有些事花钱少，容易做出成果。譬如纯粹数学，需要有头脑的年轻人，只要有图书、有不受干扰的条件、有与国际数学中心随时接触的机会，在短时间内出人才比别的学科容易得多。

三、高技术发展与翻两番目标结合起来

关于中国如何对待高技术的问题，我的看法是中国不能跟日本或美国采取走同一条道路的办法。中国目前最重要的是做好两件事：第一，要解决大规模生产的效率问题；第二要解决商品进入国际市场的问题。这两件事都是赚钱的问题。今天中国最大的困难是太穷。中国的人才多得很，他们的才干难以发挥的一个最基本的问题是中国没有经济条件。这是我多年来通过对中国的观察得到的一个结论。中国要在2000年把工农业总产值翻两番，这是一个极重要的目标，所以，我认为中国高技术发展政策的讨论，不能离开翻两番的目标。

有些高技术能在2000年以前产生经济效益，有些高技术显然不能在2000年前产生经济效益，比如核聚变产生能源将成为人类利用能源的一种重要方法，但在2000年以前能否产生结果呢？回答是绝对不可能。目前这项研究是一种很费钱的试验工作。因此，尽管这是一项重要的课题，然而中国需要做的事情太多了，不可能在这方面有大量的投资。而有一些投资比较容易在15至20年内产生较多的经济效益，我认为生物工程就是其中之一。这并不是说生物工程就那么容易去做，而是它需要的投资确

实比较少，通过人们灵活的头脑、足够的设备，在中国是可以发展的。总之，不同的高技术，要用不同的态度去对待。

中国还是要解决大规模生产的效率问题，否则21世纪就无法跟别人竞争。另外，要注意对国外市场的了解。中国派人出国学习，主要不是跟我这样的人学，因为这对目前中国的经济发展没有多大效果。中国要派人去学习国外管理工厂的实际经验以及市场学等，更有效的是派人跟美国做生意的人一块工作，吸取他们的经验。

四、对留学生要多做些工作

从总体上讲，中国派人到美国去是一个明智、有深远影响的政策。当然，派出去的人有些不回来是有些损失，但更重要的一点是通过留学生对国外的了解，通过信件或者来往访问，会给中国带来新的观念、新的看法，这是有非常深远影响的。留学生政策不仅是带来你想看到的科研成果，还有一个了解西方科技发展的作用。从历史发展的观点来看，开放政策是对的。送人到美国留学，可以得到去其他国家得不到的好处。对于派出去的人要多做些工作，使得回来的人比例增加些。

谈谈物理学研究和教学

——在中国科技大学研究生院的五次谈话(1986.5.27至6.12)

本文原载《中国科学技术大学研究生院学报》,1986年10月出版。

问: 请谈谈您通过这次讲课想达到什么目的。

杨: 我这次讲课的取材和同学们当初想象的很不一样,他们原以为我要大讲规范场和高能物理,因此感到很意外。我是故意这样做的。(按:杨先生的课程内容包含七章,即1. 中子干涉,2. 阿哈罗诺夫—博姆(Aharonov-Bohm)效应,3. 磁通量量子化,4. 全息照相(holography),自由电子激光和准晶,5. 高能弹性散射,6. 狄拉克(P.A.M. Dirac)磁单极与纤维丛,7. 非阿贝尔(N.H. Abel)规范场)

通过这次讲课我想达到两个目的。第一,我对所讲的那些东西很感兴趣,其中许多问题吸收了20世纪物理学的真精神。有些问题还在发展中,例如准晶、自由电子激光,它们在今后几年到20几年内还会有大发展。我认为值得把它们介绍给大家。第二,这一点更重要。我希望通过我的选题,使同学们了解到,大家在物理学中所追求的,宜于是新的东西。应当多对新的东西,活的东西,与现象直接有关的东西发生兴趣。这种趋向和中国过去几十年来物理教学的精神不一样。我认为这种情况是急于需要改变的。不客气点说,中国过去几十年念物理的养成了念死书的习惯。整个社会环境、家长的态度、报纸的宣传都一贯向这个方

向引导。其结果是培养了许多非常努力、训练得很好、知识非常扎实的学生，可是他们的知识是片面的，而且倾向于向死的方向走。这是很有害的。我讲课取材的一个目的，就是想把我的这个看法介绍给大家。不见得每个学生对我讲的所有问题发生兴趣，但是如果他想一想我讲的八九个题目都是什么性质的话，他会了解，我认为哪些物理问题是值得注意的。

很多学生在学习中形成一种印象，以为物理学就是一些演算。演算是物理学的一部分，但不是最重要的部分。物理学最重要的部分是与现象有关的。绝大部分物理学是从现象中来的。现象是物理学的根源。一个人不与现象接触不一定不能做重要的工作，但是他容易误入形式主义的歧途；他对物理学的了解不会是切中要害的。我所认识的重要的物理学家都很重视实际的物理现象。这是我到美国念书后得到的一个强烈印象。我在芝加哥大学做研究生时看到费米(Enrico Fermi)和泰勒(Edward Teller)对物理现象非常注意。他们有时也搞搞复杂的计算，可是注意力并不那么集中。1948—1949 年费米也注意重整化的发展，但其程度并不比对别的物理现象更高些。重整化只是他注意许多问题中的一个问题。现在有一种普遍现象，很多人只是在物理的数学结构上做些小花样。

关于中国的物理教学我在过去几年中讲过许多次。我有一个演讲《读书教学四十年》，后来收在一本同名的小集子里。1983 年在香港讲过，后来在北京和上海都讲过。其中有一段说：从 1971 年到那时，我多次回到中国，发现大学物理系中有所谓“四大力学”，它把学生压得透不过气来。没有人否认四大力学是重要的，它是物理学的骨干，可是只有骨干的物理学是骷髅。物理学要有骨干，还要有血有肉。有血有肉的物理学才是活的物理学。

我觉得这是一个非常重要的问题。西方，尤其是美国的小孩，常常训练不够，可是他们有一种天不怕地不怕的精神，专门爱想新东西，而且所想的新东西往往是和实验及实际现象比较接近的东西。我希望大家多注意新的东西，活的东西，与现象关系密切的东西。

怎样做到这一点呢？我有一个具体建议，美国有一个杂志 *Physics Today*（《今日物理》），这个杂志办得相当好，它的头几页，也许头十页吧，常常介绍物理学的新发展。它的介绍都是经过深入考虑的，文章也写得相当好。它介绍的新发展多半和实验有密切关系，当然也有纯理论的。这些介绍的可读性很高，它们不讨论深入的物理，只是介绍性质的。我自己常常从 *Physics Today* 上了解到一些听说的事情的新发展，或者从它上面了解到从什么文献上可以看到那些新发展。*Physics Today* 的这一类文章中妙的东西很多。我有一个建议。你们回去后可以组织一些研究生和教师，逐期看看上面有什么新东西，开始不一定很深入，只是看看上面讲了些什么。如果有人对某个问题有兴趣，愿意多看点文献，就可以进一步深入。这次我讲的很多问题，在过去 5 年到 10 年内的 *Physics Today* 上都有报导。如果一个物理系对于近两三年 *Physics Today* 上的报导逐期有一个讨论会的话，可以说这个物理系是消息相当灵通的。

问：请您谈谈对物理学发展的展望。

杨：不同的物理学家对这个问题有不同的看法。我谈谈我个人的看法。20 世纪物理学有长足的发展。这起源于上世纪末实验能力达到一个新水平，使人们能够做许多关于分子、原子和原子核方面的实验。光谱学提供了大量关于原子、分子的数据。20 世纪头 25 年大量受人注意的问题都是由光谱学中来的。这导致量子力学的建立。30 年代加速器促进了一个新领域——原

子核物理的发展。由于原子弹爆炸，战后许多国家的政府注意到物理学的发展与国家的前途有密切关系。因此将大量金钱投入物理研究。加以30—40年代精密工业的发展，创造了物理学各个方面大发展的条件。其中两个重要的方面，高能物理与凝聚态物理的发展都是惊人的。但是现在高能物理的发展面临着困难。现在做高能物理实验太困难了。它需要的钱太多了。这不表示高能物理不会有重要成就，例如W粒子和Z粒子的发现无疑是划时代的。但是做高能物理的人会越来越少；同时在这个领域中平均每个人每年的成果也在减少。现在开高能物理会议，一般没有什么重要成果报告。我猜想今后30年高能物理将处于困难时期。这不表示没有重要工作，也不表示没有人去做了，不过不再是一种蓬勃的局面了。高能物理理论方面虽然聪明人很多，可是不能再随时用实验去验证理论。80年代的理论工作和过去有显著不同的特点。闭门造车的现象已成为不可避免的了。

另一方面，凝聚态物理以及和技术有关的物理部门会有大发展。在这些领域中是比较容易取得成果的。

问：当前理论物理的状况如何？它和过去什么阶段可以相比较。

杨：物理学是很广的，每个方向与过去都不一样，不过大多数领域内精神与过去还是一样的。例如固体物理在实验技术上有很大发展，研究方法有质的变化，你不能像100年前一个人在家里就能研究它。不过它的精神和50年前的还是很接近的。然而基本理论和过去任何时期都很不一样。基本理论物理是建立在粒子物理上的。粒子物理实验所需经费愈来费大，今后30年它不可避免地要走下坡路。在实验愈来愈少的情况下，做理论的人却很多，其中有很多聪明人，这样，愈来愈数学化的倾向是不可避免的。现在基本理论物理非常数学化。另一方面，场论与统计

力学渐渐联在一起了。统计力学与凝聚态物理又有关系。所以场论与统计力学和凝聚态模型的关系愈来愈密切。现在刚起步的人要注意这两个特点。至于你的结论是什么，要考虑你喜欢什么，你过去学过什么，你有什么样的机会。

问： 您认为国内科研存在什么问题，青年一代应当怎样参加进去？

杨： 我只讲一些原则性的看法，不一定对每个人都适用。中国有很多有能力的人，有创造力的人，有百折不挠精神的人。现在已经没有人怀疑将来中国能走到世界前列。可是目前中国有很多问题。生产有问题，城市建设有问题，学生念书有问题，生活有问题，家庭有问题，……，问题多得不得了。为什么中国有这么多人才，这么多聪明人，还有这样多问题呢？道理很简单，只有一条：中国太穷了。如果不解决穷的问题，下一代甚至更下一代还会有这许多问题。所以，赚钱是第一要义。这不是要每个人都去赚钱，而是说要把整个社会的经济搞上去。这是绝对的、必需的一件事。许多年来，我一直认为这是中国最重要的事情。做任何重大决策都应把这一点记在心中。所以我很赞成中国的一个口号：到 2000 年把工农业总产值翻两番。这个口号很明智，没有头脑发昏，把目标提得太高。如果到 2000 年达到了这个目标，那将是很了不起的事情。这不但对中国很重要，而且它将告诉像中国这样的发展中国家，只要目标明确都有可能像中国一样有很大发展。到那时中国的一切都会改观。从每个人自己的立场讲，我的想法是，每个人应当尽可能配合这一目标。如果在实现这个目标中发挥了作用，以后他回想起来，一定会觉得这是值得自豪的事情。很多年来，我对一些念物理的人说，除非你觉得绝对非念高能物理不可，还是不要念高能物理。高能物理与中国的“翻两番”毫无关系，甚至会起反作用，因为高能物理太费钱了。这不表示

高能物理没有重要性，高能物理当然有重要性，但是中国的问题是“翻两番”的问题而不是高能物理的问题。

另外，我感到中国学生——小学生、中学生、大学生、研究生——读书型的太多了。这是中国的传统，有它的好处，正因为如此，对它的价值的判断就不那么容易了。在西方，特别是在美国，就远不及中国人那样重视念书。在中国，特别是城市里，家长们往往都希望自己的孩子能进重点中学、重点大学，能读硕士学位、博士学位，如果有更高学位那一定还希望读更高学位。这对中国的经济发展和孩子本身都是不利的，因为这不是每个孩子的能力都达得到的。在座的都是研究生，这表示你们书念得相当好。如果你念得很开朗，你不妨想一想前面我说过的问题。如果你念得相当苦——中国过去常说苦学，我是不赞成的——就不妨想一想是不是做别的事对你本人和社会都更好些。比如你到一个小工厂去。由于你有初步的物理知识，有一定的外语基础，加上你对世界的了解较多，你也许在那里可以发挥更好的作用。如果一个人有这样条件的话，一味苦念物理不一定是最好的出路。

问：在《读书教学四十年》中您说青年人进入一个新领域和它一起成长起来，取得成功的可能性比较大。您认为当前哪些领域大有发展前途？

杨：比如刚才讨论的准晶就是一个例子。它是一个新领域，其中基本的观念问题还没有弄懂。凡是一个新的方向，并且涉及的面比较广，就可能有发展前途。（如果准晶只有一种而且是在很奇怪的条件下才有的，那么发展的可能性就比较小，现在知道准晶并不是这样的。）

此外，一个新的实验方向，例如把两个大的原子核在高速度下打到一起，一定会有许多新的有意思的现象。这些现象不一定都是最基本的，但也是值得去做的。

还有一种情形，就是技术发展到一个新领域，使人们可以研究以前不能研究的现象。例如现在可以做出高功率激光，它的脉冲中的电场强度比原子中的还要大。把这种激光打到原子上可以把一个电子壳层完全打掉。这一类实验目前还比较原始。进入这类领域就比较容易成功。

如果你去搞量子电动力学的重整化，我认为不容易成功，因为它已经有几十年历史，有很多聪明人搞过了，你怎样有把握，在你进去以后，比别人做得更好呢？这不是说这种领域不应当做了。我回答的问题是，在哪一个领域中比较容易取得成就。总之，一个新领域，或者观念上是新的，或者技术上是新的，或者实验上是一个新方向，比较容易有发展。

问：一个念物理的人应当怎样看待哲学？

杨：哲学这个字有很多涵义。在西方物理学家的文章中，它有两种截然不同的涵义。一种是哲学家的哲学，还有一种是对物理问题长、中距离(甚至短距离)的看法。

问：第二种哲学是否指思想方法？

杨：不是。思想方法，例如坂田昌一(Sakata)所说的，是真正的哲学，即第一种哲学。举个例子说明什么是第二种哲学。某人说："大统一理论是不可能成功的。"你说："我同意。"他说："我们两人的哲学一样。"不管用什么字眼，第二种哲学无非表示你的看法怎样，你注意什么问题。它对物理学有关键性长期性影响。因为它决定了你喜欢提什么问题，不喜欢提什么问题；喜欢了解什么问题，不喜欢了解什么问题；一个问题来了，你喜欢用什么办法去解决它。它和一个人的风格、喜好有极为密切的关系。对一个人研究工作的长期性成就有决定性影响。每个人根据他过去的经验都会形成他自己的哲学(第二种)。每一个人都应当注意到它对自己的工作有关键性作用，因此应当适当地去控制它。

至于第一种哲学，我认为它和物理学的关系是单向的。物理学影响哲学，但哲学从来没有影响过物理学。

问：爱因斯坦认为他自己受休谟(David Hume)和马赫(Ernst Mach)哲学的影响很深。

杨：我不同意他的说法。我认为他之所以成功，不是这个原因，而是由于他的第二种哲学。

研究物理学好像看一幅很大的画。整个自然界的结构好比这幅画。看这一幅画可以有几种看法。适当的时候应当把几种看法结合起来。一是必须在近距离仔细研究，因为这幅画画得很仔细，每一个部分不一样，因此你必须用放大镜仔细研究它的细部。一是你应当在远距离去看它。你可以看到你在近距离看不到的 Pattern——一种大范围的规律。当然还有中距离的看法。物理学需要近、中、远三种看法。当然，如果你能一下子就看出了远距离所能看到的 Pattern，这当然是大贡献。但是这种可能性很小，甚至不可能。所以必须从近距离开始。总之，知识的流向是由近到中、到远的，而不是反过来的。例如，量子力学建立以后，它对哲学有很大影响，但是海森堡(W.K. Heisenberg)和薛定谔(Erwin Schrödinger)不是从哲学出发，而是从研究原子光谱出发建立了量子力学的。

我完全不同意坂田的那种想法。我认为坂田对物理学有相当贡献，不过这不起源于他的哲学，而起源于他对物理实际的认识。我不同意他自称起源于哲学。他从哲学出发的那些作法都是得不出结果的。我认为他越少用哲学，他的成就越大。

问：您对超弦的看法怎样？

杨：超弦是目前高能物理理论中的一个热门。我估计全世界大约有 100 多位有博士学位的人在做这方面的工作。我很难相信这个理论最后会是对的。高能物理理论最基本的观念是场，

是场论。场的观念是从法拉第(Michael Faraday)开始,经过麦克斯韦(J.C. Maxwell)到现在,经历无数周折,通过无数实验验证后提炼出来的一个总的想法。超弦则另起炉灶,把场的观念推广,没有经过与实验的答辩阶段。现在超弦方面的文章很多,但没有一篇真正与实验有什么关系。它很可能是一个空中楼阁。在石溪(Stony Brook)有研究生问我,他是不是应当做超弦理论。我的回答是,高能物理中有很多重要的问题没有解决,超弦理论中也有一些很妙的数学结构,如果你对它很感兴趣,又很有能力做这方面的事,对微分几何与拓扑有很好的直观了解,并且有条件和别人讨论,你不妨去做。但是如果你认为这个方向准是对的,将来你可能失望。因为超弦的想法和实际物理接触太少。与实际物理接触少的不一定不能成功,但成功的机会比较小。它的数学结构很妙,你吸收这些妙的方面,也许对你将来发展某种真正解决问题的想法有帮助。从这个立场出发,你可以去做做超弦。我对研究生的这个讲法包括了我对整个这一类纯结构问题的态度。一种从抽象数学中想出来的见解,后来在物理中大大成功的例子非常少。你要了解这一点,否则后来你可能很失望。

可以这样看数学、理论物理和实验的关系:

数学 —— 物理的理论结构 —— 理论与实验相结合部分 —— 实验
4　　　　　3　　　　　　　　2　　　　　　　　1

2和3合起来是理论物理。一个理论纯结构是通过第二部分和实验联系起来的。纯结构如果最后不能与实验联系起来,长时间以后在物理学中就失去地位,消灭掉。物理学中的价值观念最后还要从实验中来。超弦还没有通过第二部分与实验联系起来。

如果你问我,我要不要去做超弦。我的回答是我在任何时候也不会去搞这种东西。如果我能花两个星期时间弄懂它,也许我

会花两个星期。但现在它已复杂到这种程度，我不相信我花半年时间就能做出别人还不知道的东西，因为在这个领域中聪明人很多。花半年时间是一笔很大的投资，而且它不与我喜欢的物理接近，所以我不会去搞它。我自知我也很会做超弦中的那一类数学演算。可是假如我今天是一个研究生，而且对物理学发展的了解已达到我今天的程度，我一定会去做纯粹数学。在纯粹数学中妙的东西很多。我为什么不用自己的时间和能力去做对数学有真正发展的工作，而去做既非物理又没有长久数学价值的东西呢？

问：现在也有人做超弦的唯象工作。

杨：那些都是牵强、牵强而又牵强的工作。既然有了一个纯结构，就有人硬想把它和实验联系起来。现在不但超弦，而且超对称也没有和实验联系起来。

问：请比较详细地谈谈您对超对称的看法。

杨：超对称是很妙的。像超对称一类理论以后还会发展，因为对称的观念在物理学中愈来愈重要，而费米子和玻色子在现有理论中还是不对称的，这显然是不圆满的情形。

爱因斯坦的引力方程左边包含 $R_{\mu\nu}$，右边包含 $T_{\mu\nu}$。他认为方程的左边很美妙，右边不好。他说左边像是金子做的，右边像是泥做的。他想把右边物质的贡献也变成几何的东西搬到方程左边去。把物质的贡献几何化就需要把费米子和玻色子变得比较统一起来。

超对称的基本精神很好，而且它有很妙的东西。最初我看到超对称的文章时是不相信它的。当时我认为费米子和玻色子的费曼图不一样。如果一个理论中最低次近似下费米子和玻色子的质量一样，在高次近似下会变成不一样。不过我的想法是错误的。他们的确造出了一些场模型，在任何级微扰计算中费米子和玻色子的质量都一样。因此在关键的地方它确实有美妙的东西，

不过十几年了，它和实验还没有什么关系。

如果你问另一个问题，即你是否应当进入这个领域。我认为你应当慎重。如果你不进入这个领域而进入另一个更新的领域，你对它既有兴趣，又有能力，你更容易取得好成绩。在老领域中有无数聪明人作了大量工作，有什么理由你会比他们做得更好呢？这好比淘金矿，当然以淘新金矿为好。这不是说在老金矿中一定淘不出东西，不过淘出东西的可能性比较小。所以我赞成淘新金矿不赞成淘老金矿。

问：您认为超引力理论怎样？

杨：爱因斯坦的引力理论和实验有密切关系，不过他对它并不完全满意。我已经说过，他想把引力方程右边物质的贡献也几何化，搬到左边去。可以认为超引力是解决这个问题的美妙倡议。不过目前它和实验还没有发生关系。

在石溪有一位国内去的研究生想做超引力。我问他，你是不是对超引力非常感兴趣，非常想做它，他说是的。我又问他，你在这方面是不是很有能力，他说是的。他几何方面的东西学得不错。我说那么你可以去做。你应当在最短时间内取得博士学位，同时注意学习些别的东西，例如固体物理。他现在是冯.尼文休泽(Van Nieuwenhuizen，超引力理论创始人之一)最杰出的学生。我相信他将来在这个领域中会很出色。我举这个例子是想说，有些人天生喜欢做纯结构一类工作，并且有很强的能力，就让他们去做好了。但是如果你还没有拿定主意做什么，并且不像某些人擅长微分几何一类东西，我想你去学与现象关系密切的物理要好些，这是比较稳妥的理论物理训练途径。超引力是一种纯结构，如果今后 30 年还不能与实验联系起来，就会枯萎掉。

问：您的杨—米尔斯(Yang-Mills)场理论属于上面图中哪一部分？

杨：在美国也有学生和我辩论。他们说 1954 年你做规范场时，它不也是一种和实验没有关系的纯结构吗？的确那时它和实验没有多大关系，不过你看看我们的文章就会发现，当时它和两个已经有稳固实验基础的理论结构有密切关系。它们是同位旋守恒和麦克斯韦方程。现在很多工作是在没有实验基础的纯结构上锦上添花，脱离实验愈来愈远，这是比较危险的。

从规范场提出来以后，我对它始终很注意，但写的文章不多。我始终认为不应当马马虎虎地把它变成唯象的东西。在 60 年代，有些人从纯结构的立场上认为它很妙，于是作唯象工作，其中最显著的是 Sakurai(樱井)。他认为 ρ 介子就是规范场粒子。我不同意他的想法，因为他的作法，破坏了规范理论中最美妙的观念——规范不变性。他的作法很牵强。后来他寄信给我，问我为什么对他的工作不感兴趣，是抱怨的口气。我大概没有回答他。我对规范场当然感兴趣，但是觉得他的作法不妥，所以没有法子回答他。后来人们把自发破缺的观念引入规范理论，它既解决了规范粒子的质量问题，又没有破坏对称精神。这是一个重要贡献。这个经验告诉我们，今天许多美妙的纯结构也许稍加变动就能和实验联系起来。这也是做纯结构的人的希望。不过我要警告你们，成功的希望十分小。

问：您对希格斯(Higgs)机制满意吗？

杨：不满意，所有的人都这样看。它有妙的地方，并且和目前的实验吻合，不过没有人相信它是最后的理论。它的想法太 adhoc一构，没有深刻的物理和数学根据，因此将来会被其他理论代替，不过目前还很有用处。

问：您对引力场与规范场的统一有何看法？

杨：把它们的公式比较一下，就会发现二者很相似。它们之间有密切关系是不成问题的，但到底是怎样一种关系还是一个有

争议的问题。

规范场的 $F_{\mu\nu}$ 和引力场 $R_{\mu\nu}$ 都是几何学中的曲率。$R_{\mu\nu}$ 是 $g_{\mu\nu}$ 的二次导数，因此爱因斯坦的引力场方程是 $g_{\mu\nu}$ 的二阶微分方程。而规范场的运动方程 $\partial^{\nu}F_{\mu\nu}=\cdots$ 是曲率的一阶微分方程，在电磁学中就是如此。$F_{\mu\nu}$ 和 $R_{\mu\nu}$ 都是曲率这个观念太原始了，我想这是绝对不能改的。既然 $\partial^{\nu}F_{\mu\nu}=\cdots$ 是曲率的一阶微分方程，那么引力场方程就应当是 $g_{\mu\nu}$ 的三阶微分方程。这也是爱因斯坦引力理论需要修改的一种迹象。1974 年，当规范场的几何结构弄清楚以后，我提出一个新的引力场方程。但是方程的左边我会写，右边不会写。这个问题现在还没有解决。

问：请您评价一下大统一理论及规范场在其中的地位。

杨：大统一理论是要把已经获得成功的弱电统一理论扩充一下，把强作用也包括进去。不过简单的大统一理论与实验不符合。自然界是奥妙的。大统一理论只是简单地把已获得成功的理论扩大下去，没有引进新的妙的见解，它的不成功是不足为奇的。

我觉得把更多的东西统一起来的方向是对的，我相信大多数理论物理学家也同意这个看法。将来怎样统一我不知道，规范场在统一中无疑会起重要作用，不过只有这一点恐怕还不够，恐怕还应当有新的没有想到的见解。

问：您对亚夸克大统一理论有何看法？

杨：这些都是非常猜测性的东西。文章很多，也搞了好多年。刚作研究生的年轻人不宜向这种方向发展，而宜于更注意与现象有关的问题。

问：您对第五种相互作用的看法如何？

杨：今年初某记者在报纸上报导了 *Phys. Rev. Lett.*（《物理评论快报》）上一篇文章，所以全世界都知道有所谓第五种相互

作用的说法。我不相信有这种力程不长不短的相互作用。如果我是审稿人,我会同意发表这篇文章,但认为不值得吹嘘。

你们在国内消息不灵通,很容易被突然传来的消息所左右。做物理研究的人应当有自己的看法。有些看法也许不对,应当随时修正,但有了自己的看法才不至于像一棵脆弱的树在风中乱摇。有些人喜欢把一些奇怪的纯结构与很稀奇的实验联系起来,这是常有的事,但成功的可能性很小很小。

问:请谈谈您对多重产生唯象理论的看法。

杨:可以不客气地讲,国外多数人搞的这方面工作毫无价值,因为他们不懂物理是什么。在国内看到 *Phys. Rev.*(《物理评论》)上一篇文章就花力气去念,往往是很吃亏的。很多文章是这样的。A 写篇文章,B 说不对,去修改一下,C 说 B 不对,又去修改一下。你去看了 C 的文章,就会被困扰在别人没有根据的胡思乱想中。对待这种事情的办法,应当是去研究一下原来的实验。比较容易研究的问题是新东西。因为它是新的,还没有被很多文章搞得眼花撩乱,这时进去,和实验比较接近,就容易做出新的有意思的结果。我有两点建议:多注意新发展的东西,多注意最初的现象。如果贯彻这两点就比较容易和真正的物理发生关系。

问:请谈谈对混沌理论的看法。

杨:这是一个比较新的很有意思的领域。几年以前,我曾建议国内一些人去做这方面的工作。今天它已经有七八年的历史了,但仍值得去搞。

问:请评论一下温度场论。

杨:温度场论是很有意思的。这是一个比较深的题目。文章很多,不过我没有去研究它。对于这一类问题,我的一般态度是这样的,如果我决定去研究它,我就一定从头做起,而且不先去

看别人的文章。做了一段时间，如果有困难，再去看别人的文章。这样才能很好吸收别人的东西。1959年左右，我和李政道要讨论W介子，讨论矢量介子的电磁相互作用。我们从头去做，做了一段时间，就发现别人的文章虽然很多，可是有很多是不对的。做了一年我们成了这方面最大的专家。温度场论是一个很好的方向，如果有人去做，我建议他从头做起，不一定看别人的文章。做了一段时间后再看。如果一开始就跟着别人跑，可能有些最大问题你不去问了。这好比新到一个城市。如果一开始就跟着别人跑，几次以后，可能还不认识整个城市。如果你自己摸索着走，情形就可能不同了。

问：您对早期宇宙的看法怎样？

杨：15年来这方面的文章很多，我想其中有很多有意思的文章。不过我没有涉及这个领域。这类问题猜测性很强，这不是我喜欢做的方向。有人爱好这类工作，并且很成功。如果有人很适合做这类工作，我想这对他是一个好方向。

问：我的老师要我搞超弦，可是我没有超对称和超引力的知识，搞进去要花很长时间，万一后来整个想法出了问题，又不搞了，就把时间都浪费了。另一方面，我有一个想法，我觉得生命现象很多方面决定于“生物场”。想去搞搞，但又怕是空中楼阁。

杨：除了“生物场”，其余你说的我都理解。如果你有一个很原始的想法可以深入地想想，可是不要死钻，还要注意别的事情。我讲一下自己在这方面的经验。

我在芝加哥大学做研究生的时候，考虑过这样一个问题。在相对论中用尺子测量刚体的问题，吵了许多年也没有弄清楚。既然可以观测的东西才可以搬到物理学中来（我现在认为这个看法并不总是对的，把它看得太神圣了不好），从基本上说无所谓尺，也没有普通的测量，整个物理学不应当从 $ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$ 出发，

因为它不是最基本的。应当画出每个原子的世界线，这些世界线在四维空间中组成一个网。物理学应当是这个网的 Pattern。当时我认为这个想法很通，很基本，于是说给费米听了。他说你的这个说法有意思，你去发展它吧。我想了一两天就再发展不下去了。从这件事情我吸取的教训是，每个人的思路不一样，如果你有一个原始的想法，值得去想想，可是并不是每个原始的想法都是可以发展的。像这一类想法，值得去想想，但不要苦想，想了一两天，不成功，就应当换一个问题去想想。老想一件事甚至会发神经病的。再讲一个故事。我在做研究生时有一个想法。既然麦克斯韦方程和电荷守恒有密切关系，而同位旋守恒已为实验所证实，它是不是也应当引导出另一种规范场？我把这个想法发展了一两天就发展不下去了。过了半年、一年，觉得这个想法很好，又去试试，接连弄了好几次，一直到 1954 年。这时这个问题的重要性更突出了。当时已发现了许多粒子，可是没有一个原则去写它们的相互作用。用规范场去写相互作用是一个原则，至少对一类相互作用是一个原则。于是我又去试试发展我的那个想法。当时我在布鲁克海文(Brookhaven)实验室和米尔斯(R.L. Mills)合用一个办公室。这一次我们在 $F_{\mu\nu}=\partial_\mu A_\nu-\partial_\nu A_\mu$ 右边加上一项$[A_\mu, A_\nu]$(A_μ 是 2×2 矩阵)，于是原来的困难克服了。终于产生了非阿贝尔规范场理论。这件事的教训是，如果你有一个原始的想法，不要轻易放弃，可是不要死钻，还要注意别的事情，把视野放大些。这好比下围棋，如果在一块地方你处于不利地位，就不要老钻在那里。换一个地方去发展一个天地。后来情形改变了，也许原来那块地方可以变活。所以有两点，既不放弃你原来的见解，又要暂时去弄别的东西。至于你所说的“生物场”，我不懂，你可以和别人讨论。

问：您对研究生自费留学的看法怎样？

杨：我的看法是，中国人多得不得了，自费留学没有什么不好。既然说到这里，我发挥一下。我有两点看法。第一，中国大陆有很多人出去做研究生，听说有好些人取得博士学位后没有回来。这是意料中的事。许多年前我就在中国讲过这一点。现在很多人关心这一点，认为是很大损失，很不好。我不同意这种看法。很多人留在国外，可是还有更多人没有出去，所以这不是一个大问题。在 50—70 年代，台湾出去留学的人，回去的不到 1—2%。但是这并没有阻碍台湾的经济发展。台湾的经济有它的缺陷，但在这段时间确有很大发展。第二，我用一个故事说明。3 个星期以前，我在香港坐计程车。司机是位女的。我说："你的普通话讲得很好。"她说 50 年代她在北京念过中学。她问我做什么工作。我告诉她我是物理学教授，住在美国。她说这很好，她有一个问题问我。她有一个儿子原在广州念中学，去年考入复旦大学物理系。他的同班同学都想出国，他也想出国。但是通过 CUSPEA 出国的，每年只有七八位。虽然他在中学时名列前茅，可是进复旦后，竞争激烈，他觉得自己没有希望通过 CUSPEA 出去。因此很苦恼。他通过美国的一个机构联系了一个大学(这个大学的名字是我从来没有听说过的)，但需要花 7 到 8 万元港币。她问我，应当怎样办？到目的地后，我给她的儿子写了一个条子。我写道，我叫杨振宁，我有两点看法。一、复旦大学是第一流的大学。你在复旦念的物理较美国任何大学本科念的物理，可以说只会好些，不会差些。二、你在复旦毕业后，很多美国大学会接受你做研究生，并提供助教位置，不管你是公费去还是自费去的，因为复旦在美国是有名气的。我认为这是你学物理最好的道路。现在急急忙忙随便进一个大学，对你一点好处也没有。

重视科学传统

——在南开大学接受名誉教授仪式上的讲话(1986.6.6)

本文原载《南开周报》1986年第223期。收入《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。本文标题为《杨振宁演讲集》主编所加。

母校长、何教授①、各位朋友们:

我非常高兴今天成为南开大学的名誉教授。南开大学是一个有深厚传统的学府。

今天早晨,你们的校长、陈教授、还有好几位学校的领导人带我去参观了南开数学研究所。我也看了南开数学研究所的图书馆。办这样一个研究所是很不容易的事。

我想,科学传统是非常重要的。刚才母校长谈到我曾说科学的风格是非常重要的。风格的发展是与传统有极为密切的关系的。我想南开是很幸运的,请到陈省身教授来主持南开数学研究所,这是一个有深远意义的见解。这不但对南开大学有很大的好处,我相信对于整个中国的数学界也会有很大的好处的。

大家知道,日本在现代化科学方面起步比中国早,他们在19世纪的末期,20世纪的初期就已经有过一些留学生,而这些留学生已经有过一些相当重要的贡献。不过,近代物理在日本变得相当重要是从1939年开始的,而这里边有特别建树的一位是汤川

秀树，他在1935年用他的非常敏锐的观察力写出了一篇非常重要的文章，这篇文章引进了介子的观点。去年在京都有个庆祝会，因为去年是汤川秀树介子理论50周年纪念，他们请我在这个庆祝会上做演讲。关于汤川秀树的贡献，我把他当时在物理上的贡献讲了四点。不过我最后讲，我刚才说的是非常重要的贡献，可是，恐怕这些贡献加起来还没有他在另一方面的贡献大。因为他激发了日本下一代，再下一代，再下一代的年轻的物理学者对于物理进军的热忱。我个人最后的结论是说，我觉得今天日本是一个世界工业大国的事实恐怕与汤川秀树所做的贡献会有密切的关系。

我想陈先生所倡议创建的南开数学研究所现在由他领导，这件事的影响像我刚才讲的，是有非常重大意义的。

方才讲到学术的传统是非常之重要的。我想一个传统建立起来是相当困难的，把它毁灭掉是一件很容易的事情。德国在19世纪末年，20世纪初所建立的深厚的物理学和数学的传统在二三年之内就烟消云散了。受这件事情益处最大的是美国。因为许多犹太人的数学家、物理学家、化学家，很多的科学家，很多的工程师都到美国去了。这件事情与美国30年代以后，尤其是40年代战后，许多方面的科学一下子跳跃到世界之首有密切的关系。当然，这不是唯一的关系，大家知道，美国在20年代不是一个世界上尖端科学最先进的国家。当时，美国的许多研究生要到欧洲去做他们的博士论文。可是，美国有深厚的工业基础。所以，在这个工业基础上，来了很多的人才，又通过第二次世界大战，战后美国的国民、美国的政府、美国的学校对于科学研究与整个社会、国家的不可分割的重要性有了认识以后，美国对于科研大量的投资，在这个期间，在几年之内，美国差不多可以说各个不同的科学领域都达到了世界的第一位。

我非常高兴今天成为这个学术风气非常深厚的、学术传统很长久的学校的名誉教授。而且，我跟南开大学的关系，跟南开大学学术传统的关系，还不止于此，因为我是西南联大毕业的，所以，也是南开的校友。因为我一生的研究工作有两个最主要的方面：统计力学和对称原理，基本粒子里的对称原理。规范场，是一个新的、非常大的一个对称。宇称不守恒，当然更与对称性有直接的关系。而我对于对称性发生关系是起源于我的学士论文，这论文是跟吴大猷先生作的。大家知道，吴大猷先生是南开的毕业生，他对于南开有深厚的感情。所以，可以说，我是南开大学学生的学生，今天做了名誉教授当然很高兴。

谢谢！

注：

① 指南开大学的母国光校长和何国柱教授。

关于物理学的研究方向

——与南开大学物理系部分教师的谈话(1986.6.7)

本文是作者于1986年6月7日在南开大学与物理系部分教师座谈时的讲话。原载《杨振宁演讲集》,南开大学出版社,1989年。原标题为《关于研究方向的建议》。现标题为编者所加。

中国要努力发展物理学。不过,这是非常困难的一件事。因为物理学基本是一个以实验为本的学问。这个学问要想发展起来,就要有工业基础,而这是一个非常困难的事情。要发展,就要了解这个困难。可是,物理学中有一部分,就是基本的理论物理这一部分,它的发展,在一定程度内,可以跟实验的方向不那么紧密地结合在一起。长远的还是要结合在一起,不过短期之内不一定那么密切。这个方向,恐怕应是中国最先发展、容易成功的方向。

我跟很多人说到过,比方说苏联,苏联在基本物理学方面最大的成就是在理论方面,常常是与数学有非常密切联系的一些理论方面。我想以后这现象还要更加厉害。因为实验物理越来越复杂,不只是高能物理,就是技术物理也越来越复杂。在这个情形下,各个国家,尤其是苏联,将来的基本物理最容易占先的,还是只动脑筋的方面。这个现象,再过20年、30年更会有增无已。

这不是一个人，两个人甚至一个国家所能左右的方向。这是一个事实。

前几年，我就提出来是不是可以研究成立一个组，联合中国各个方面各个地方的人才，来研究一个题目，叫做可积系统和凝聚态物理中的一维、二维模型。国外做这个方面工作的人非常多，从抽象方面搞到规范场，具体方面与固体物理有密切的关系，与实验固体物理也有密切的关系。我原来想的是很空洞的方向，需要把它凝集到具体方向。我想，假如在南开数学所有一个组，向这个方向发展，这是非常有利，可能做出很多事情的方向。

纽约州立大学石溪分校的长远蓝图确定向技术物理发展，对纯粹的物理不削弱，但为适应美国工业发展需要，就必须向技术物理发展。

所有机构的财力都是有限的，所以要集中财力发展重点，平均发展是没有希望的。中国每个研究组都在极端困难条件下工作，搞理论物理的人很少与实验物理接触，这是个普遍现象。

大家感兴趣的科研方向不要太集中。应多请西方的人来，了解有什么新的方向，以便根据条件短期内能走到前沿。

选择课题要充分发挥自己的特长，对有些课题如有窍门就做。不是可不可以做的问题，是你有没有新招儿的问题。我跟年轻人常讲，要注意新的领域、新的东西。

西方对科技史越来越注意。兰州大学研究生彭岳研究荷兰的科技史，两个月内写出了论文，我给改了改，在去年 5 月的《自然杂志》上发表了。后来彭岳去了美国，我又建议他研究原子弹发展史，他看了 100 多本书，用 10 个月时间写了 5 篇论文。他可以获得高能物理学学位，但他很可能要做科学史方面的工作。

建议读三本书：《爱因斯坦传记》、《向里头走》和《第二次创生》（后两部书是写 20 世纪物理学发展史的）。现在美国人越来

越重视物理学史。

王淦昌先生快80岁了，我与李炳安一起写了《王淦昌先生与中微子的发现》(见本书第560页)。另一个是关于赵忠尧先生的工作，他围绕检验狄拉克的理论，发现了两件事，做了两个实验，他做得最准确。南开大学文献资料多，应该做点这方面的工作。我再讲一个例子，关于兰姆实验问题，发现谢希德的父亲谢玉铭先生做的实验比兰姆早好多年。研究一些中国科学家的贡献是很值得的。科技大学钱临照先生很关心此事。

几位物理学家的故事

——在中国科技大学研究生院的演讲(1986)

本文由丁亦兵据录音整理，原载中国《物理》杂志 1986 年 15 卷 11 期。

费米的故事

费米(Fermi)是 20 世纪的一位大物理学家，他有很多特点。他是最后一位既做理论，又做实验，而且在两个方面都有第一流贡献的大物理学家。认识费米的人普遍认为，他之所以能取得这么大的成就，是因为他的物理学是建立在稳固的基础上的。用英文讲是"He has both of his feet on the ground"，就是说，他总是双脚落地的。

我给大家举一个非常简单的例子。1925 年至 1926 年矩阵力学和波动力学建立，1927 年海森堡(Heisenberg)的测不准原理又问世，这时质点的量子力学基础已经奠定了。但是，要计算一个电子从一个态跳到另一个态的跃迁几率，还要用对应原理，这是一个半路出家的办法。对此，有好几个人，其中最主要的是狄拉克(Dirac)，进行了初步的讨论，认为需要把电子的运动与电磁场结合在一起，把它们看成一个运动系统，然后对这个整个的系统进行量子化。这样，就形成了量子电动力学，所以大家公认狄

拉克是量子电动力学的创始人。狄拉克的文章发表以后，泡利(Pauli)和海森堡对这个工作非常感兴趣，他们把这种场论大大地向前发展。我记得，我在芝加哥大学做研究生时，曾经花了很多时间来研究他们在那两年里所写的文章。这些文章都非常难懂，因为它们太形式化了。

在那个时候以前，费米没有参与过量子力学本身的奠基性的工作。他的关于统计力学的研究工作是在量子力学建立之前发表的。那时，他在意大利。那里的近代物理学当时不是最发展的，费米完全是独自做研究的。他看到了狄拉克的工作，也看到了泡利和海森堡的工作。他对这些工作不太满意。其中最重要的一点是，在这一理论中有一个叫做标量势的量 A_0，找不到它所对应的动量，这在当时引起了一些紊乱。费米讨论了这个问题，在 1930 年写了一篇文章，是用意大利文写的。1932 年，在《现代物理评论》上用英文发表了。他的这篇文章非常直截了当、非常具体地奠定了量子电动力学的基础。不管当时狄拉克、泡利、海森堡写了多少篇文章，他们所做的东西都偏于形式化，所得的结果不具体、不清楚。然而，经过费米的工作，就变得非常具体、非常清楚了。当时一些从事这方面工作的人，比如乌伦拜克(Uhlenbeck)，就曾说在费米的文章出来以前，没有人懂量子电动力学，算来算去都是一些形式化的东西，对于具体的内容并没有理解。费米的文章出来以后，才真正地懂了。费米的这种扎扎实实、双脚着地的特点，正是他的基本成功之处。这一点不只是表现在刚才所讲的很复杂的量子电动力学上。从简单的到复杂的所有的问题，经过费米一处理，都变成非常清楚的了，使得你觉得中学生都可以懂。

正像在我的那篇《读书教学四十年》的文章中所讲的，我在做学生时，受到费米的影响非常之大。其中最重要的是我了解到物

理不是形式化的东西。

1948年我在芝加哥大学得了博士学位之后，当了一年教员。1949年春天，奥本海默(Oppenheimer)来演讲。当时在美国，奥本海默是众所周知的物理学家，因为他成功地主持了战时原子弹的研制工作。那时正是量子电动力学中重整化问题的研究处在高峰的时期。在芝加哥大学，费米和温采尔、泰勒(Teller)等几位教授对这一问题非常感兴趣，但是他们还没有细致地做这方面的工作。奥本海默那时主持普林斯顿高等学术研究所，那里有很多年轻人(包括戴逊等)在做这一工作。听完奥本海默的演讲之后，我觉得我应该到那里去。于是我去找费米，也找了泰勒，请他们介绍我去高等学术研究所。他们两位很赞同，因为那里有很多年轻人，经常有很多新问题讨论。奥本海默回了信，接受我去高等研究所。这时，费米对我说，他很高兴我去那里，可是又说，那个地方不是久留之地，因为那个地方像是一个修道院，是为培养传教士的。这种观点清楚地表示出了费米的物理学的精神，它也确实是我们做学生时平常与他接触所得到的最深刻的印象。

费米对于“什么是物理，什么不是物理”有一个很清楚的价值观念。他认为太多形式化的东西不是不可能出物理，只是出物理的可能性常常很小，因为它有闭门造车的危险。而跟实际接触的物理才是能够长期站得住脚的物理。我后来对于物理的价值观念是深深受到了费米的影响的。这里，我们不妨做一个比喻。物理学的发展，可以比作研究一张非常大的画。对这张画首先要有近距离的了解，因为它画得非常精细，你在每一个不同的地方都可以发现非常奥妙的结构。这个近距离的了解非常必要，如果没有这种了解，就不可能理解物理学的真正的精神。但是，如果一个人只做近距离的了解，他便不能得到最大的成就。把这许许多多近距离的了解加起来还不够，还需要有宏观的了解，为此就需

要有能力走远了去看。这时，你会发现一个大的结构。对于一个物理学家，最希望他能做的是，既要对大的结构有了解，又要对细致的结构有了解。只有把这两者结合起来，才能够真正吸取自然界物理现象基本规律的精髓，也才能真正有贡献。费米就是这样一个两方面都做到的人。

费米还认为，物理学发展的方向必须要从近距离的了解开始，才能得到大的规律。当然，也许有人要问，爱因斯坦发现广义相对论时，是不是用非常大的原则来做的呢？我想，回答是这样的：不错，他发现广义相对论是用大的原则来做的，表面上看起来，不是从具体开始的。不过，你如果再仔细地想一想，他取了哪些原则，他为什么抓住了那些原则，以及他怎样运用这些原则来写出广义相对论的，你就会了解，他的那些原则还是由他从近距离所看到的那些规律所归纳出来的。换句话说，爱因斯坦吸取的过程，仍然是从近距离变成远距离，然后从远距离得到规则再回到近距离来。

总而言之，我认为，一个完全只想从远距离的规律来向物理学进军的人是极难成功的，或者说，几乎是史无前例的。费米对这一点的认识最为清楚。你去听他的课也会有同样的感觉。他所讲的总是从实际现象开始，用最简单的方法描述出来。你仔细地琢磨就会发现，有时候有非常重要的大的规律在里面，而这个规律却永远不是他开始的地方。

因为费米对具体的事情懂得很多，对于大的规律又有很直觉的了解，所以有时候会发生一些很有意思的事情。这类事情在物理学里常常发生。我下面就要给大家讲一个故事。这个故事是在费米去世以后，钱德拉塞克讲的。钱德拉塞克是一位大天文物理学家，在三四年前获得了诺贝尔奖金。50年代初他与费米曾经在芝加哥大学合作过。他非常佩服费米。这个故事就是费米

讲给他听的。

费米是在30年代从一个纯粹的理论物理学家变成一个实验物理学家的。在那以前，我们大家所知道的他的几个最重要的工作都是纯理论的。最早，他曾研究黎曼(Riemann)几何，里面有一个定理，现在还称做费米定理，那是一个纯粹几何学的定理。以后，他的最重要的贡献是费米—狄拉克统计，那是在1924年完成的。1930年左右，他用一个很简单的方法完全解决了当时困惑人们的原子超精细结构中的一个问题。与此同时，他还讨论了量子电动力学中库仑场如何处理的问题，从而使大家第一次真正懂得了量子电动力学是怎么一回事。他在1933年发表了非常重要的β衰变理论。他自己认为这是他一生中关于理论物理的所有工作中最重要的一项。这一点，我不大同意，等一会儿我们再讨论。

就在这个时候，他改变了方向，转向从事实验工作。他是第一个发现慢中子作用的人。大家知道，查德维克(Chadwick)在1932年发现了中子。从那时起，很多人都来做中子的实验。费米和他的研究组的同事和学生在罗马也做这方面的实验。他们看到了一个非常稀奇的现象：他们希望用一个屏把中子流挡住，可是他们发现，当有的屏放上去以后，中子流反倒越强了。我们现在当然完全懂了，这是因为有的屏蔽物把中子变慢了，而慢中子作用更大。他们在当时却觉得非常稀奇，屏蔽物放得越多，后面的中子好象越多。在50年代，费米跟钱德拉塞克说，他记得非常清楚，在他们没有弄懂这件事时，他们想再找一些新的屏来试一试。因为要吃午饭了，大家都走了。饭后，费米说，不知道是什么缘故，他作了一个完全是下意识的决定。他对大家说："我们不要用重的物质做屏蔽，而用一个非常轻的物质试一试。"结果发现，后面的中子的效应大大增加了。这是因为一个轻的东西放上

去以后，中子的速度更慢了，反应截面变得非常之大。对这现象，费米想了一个晚上之后，就完全弄懂了。

费米讲这个故事给钱德拉塞克听，就是想指出，当时是一个他不知道的道理，促使他放一个轻的屏，在物理里这种事是常常发生的。我想，这与我们思考的过程有非常密切的关系。凭着费米自己的非常广、非常深的经验，他有些自己不能用逻辑讲清楚的推理。经过这种推理，他下意识地感觉到，一个重的屏蔽与一个轻的屏蔽相比会有很重大的区别。达到这种直觉的下意识的推理，是所有理论物理和实验物理的一个基本的环节。没有这个环节，不太容易做出真正最重要的贡献。产生这一环节的必要基础是要有广泛的经验。这种经验可能是理论的经验，对数学结构的经验，也可能是实验的经验。大家都知道，许许多多最最重要的工作，是先经过很多思考，后来在没有经过逻辑推演而得出来的新的想法之下产生出来的。

我特别要讲这个故事的道理，是因为中国的物理学教学中有一个倾向，使人觉得物理就是逻辑。逻辑，没有问题是物理的一个部分，可是只有逻辑的物理是不会前进的。必须还要能够跳跃。这种跳跃当然不是随随便便的跳跃，而是要依据许许多多的不断延续下来的与实际的事物发生的联系。由这些联系出发才可以使一个人有胆量做出一些逻辑上还不能推演出来的这种跳跃。

我再举一个例。大家知道，在20世纪初，最重要的物理学发现之一是放射性元素。它的最早的发现者就是贝克勒尔(Becquerel)。贝克勒尔之所以能做出这一发现，是因为在此之前伦琴发现了X光。伦琴的X光可以随便给任何人看，可以照透一个人的手。在伦琴的第一篇文章里有一只手的像，那是他太太的手。当时人们还不懂X光到底是什么。有人认为，如果把磷

光物质放在强光下照射，就会发出 X 光，贝克勒尔和彭加勒(Poincare)就是这么认为的。(彭加勒是 19 世纪末、20 世纪初的一位大数学家，他对于 20 世纪的数学的影响是非常巨大的。他对物理学，特别是具体的物理现象非常感兴趣。)这一种想法促使贝克勒尔要对这种现象进行实际的研究。他把一块铀放在太阳光下，照了几个小时，让它吸收了很多强光，然后用黑纸把它包起来，放在一张照相底片上。果然，照相底片感光了。他发表了一篇文章，说现在证明了铀在强光照射下发出 X 光。后来他还要继续做这个实验。不巧，巴黎那几天天天下雨，没有了强光，他只好把铀放在柜子里。可是，不知是什么缘故，他又想到要来重新试一试。他把那些铀包了纸，同样做了一个实验，忽然发现照样有感光现象。于是他马上又发表了一篇文章，说这个理论是不对的。这就是最初发现放射性元素的经过。对此，很多人曾议论过，认为他当初在一个下雨的天气里，还要去试一试，一定是有些灵感。他的一家，从曾祖、祖父一直到他，都对铀做了很多研究。所以，若说是灵感，那么这种灵感必定来源于他的丰富的实践和经验。他当时似乎是忽然灵机一动，而这个灵机一动是非常重要的。

中国古时候喜欢给一些学者、一些文人、一些诗人或一些画家做一些评论。有人觉得这种评论非常不恰当，因为这是些印象式的评论。不过，印象式的评论我认为不可完全厚非，因为，虽然印象式的批评确实不是完全能讲得清楚的，但是这种不是完全讲得清楚的东西，往往抓住了真正的精神。所以，我也来做一个印象式的评论。费米给人的最重要的感觉是什么？他的物理是怎样的物理？我认为费米的物理可以说是“厚实”。

泰勒的故事

我在芝加哥大学念书时,对我有很多影响的另一位老师是泰勒(E. Teller)。他比费米年轻六七岁,是与费米同时在战后到芝加哥大学去做教授的。泰勒的物理与费米的物理有很相近的地方,也有不相近的地方。相近的地方是他的物理也是从现象出发的。他的基本兴趣反映在对物理现象的好奇心。他的见解非常之多,一天之内就有好多不同的见解。他有很多研究生。他常常是当第二个礼拜看到某个研究生时,就已经不记得上一个礼拜给这个研究生的题目是什么了。

泰勒与费米不同的地方是,费米讲出来的见解通常对的很多,而泰勒所讲出来的见解多半是不对的,这一点给了我一个非常深的印象。因为按照中国的传统,你要是对某个问题没有完全懂,就不要乱讲话。人们认为乱讲话是非常不好的。而且乱讲话的人一定是不可靠的。泰勒的见解非常之多,而且总是要讲出来的。不过如果你指出他是错的,他就立刻接受,立刻向正确的方向走。在他的周围,这一类事情多极了,这是一种非常良好的气氛。所以,他可以有许多研究生。

我到芝加哥大学本来是想做实验物理方面的论文,因为我在中国的时候,没有做过什么实验。假如你们今天觉得跟实验的接触很少的话,那么我那时在昆明念大学和研究院时跟实验的接触,可以说等于是零。我自已认为我必须弥补这个缺陷,因为我深深地了解,物理的基础是实验。我一到芝加哥大学就去找费米,说我很想跟他做实验。他那时既做理论,又做实验。不过他说我不能跟他做实验,因为他是在阿贡国立实验室,而那时的阿贡实验室是保密的,我不是美国人,不能在那里做实验。他说:“你先跟泰勒做一些理论工作好了。”

过了一个多月，泰勒来了，我去找他。我记得很清楚，因为泰勒年轻时有一只脚不幸被电车压了，所以他走起路来一歪一歪的。他的办公室门口有卫兵，我不能进去。在门口我给他打了一个电话。他在电话中说，费米跟他讲过了，有一个学生要来找他。然后，我就听到了嘭、嘭、嘭的声音，他从楼上走下来了。他说："我们先散散步吧。"于是，我们就一起散步。散步时，他问我氢原子基态的波函数是什么。这个问题对于我来说是易如反掌的，因为我在国内时已经念过量子力学了。我马上答出来了。他说："你通过了。我接收你做我的研究生。"他这样做是有道理的。因为有很多学得很好的人，不会回答这个问题。照他看来，能够回答这个问题的人，才是可以造就的。

我跟他做的第一个题目是 Be^7 的 K 电子俘获。根据费米在 1933 年提出的理论，这个 K 俘获的可能性（几率）与 Be^7 上电子的密度成正比。可是做实验的人有另外一个观念。这个观念是 20 世纪初研究放射性元素的寿命时形成的。大家做过很多实验，发现这些寿命是原子核的特性，与外面的电子分布是没有关系的。1909 年还有人写过文章，指出元素放射性的半衰期是不能用化学的方法去影响的。可是 K 电子俘获就不同了。只要你了解了关于它的理论，你就会看到它的几率是与电子的分布有关系的。有些做实验的人认为这是不对的，因为这也是一种放射性的半衰期，它也不应该与任何化学的作用有关系。当时在洛斯阿拉莫斯，西格芮（Segrè）做了一些实验，研究纯金属铍与氧化铍晶体的 K 俘获半衰期是否一样。泰勒让我通过计算解决这个问题。一方面氧化铍的晶格常数比较大，离子离开得比较远，而金属铍中离子比较挤。可是另一方面氧化铍中电子比较多，因为氧有很多电子。前者使电子数密度减小，后者使电子数密度增加。这两者相减，就可以得出所需要的结果。他给了我关于如何计算

的建议。这是与晶体结构的电子分布有关的计算，是我当时还不晓得的。他告诉了我两个方法，一个是维格纳—赛兹(Wigner—Seitz)关于晶体结构的方法，另一个是托马斯—费米—狄拉克方法。托马斯(Thomas)—费米的方法我学过，托马斯—费米—狄拉克方法我没有学过。不过，对这两个方法我都发生了兴趣。用了这两个方法，最后就算出了结果。这使他很高兴。他要我做一个报告，这是我在美国所做的第一个学术报告。

报告大概是1946年2月，刚打完仗，到芝加哥大学来的人还不太多。在座听讲的有泰勒、费米、迈耶、玛丽·迈耶和尤瑞(Urey)等，都是非常有名的人，所以我有点紧张。不过，他们对我做的报告都很满意。报告后泰勒让我写出文章。可是，我一动手写，就觉得不大妥当了。因为计算中我用到了一些近似方法，我没有把握它们有多准确。刚才讲了，我的结果是由两项相减得到的，我仔细地想了想，觉得这样做是非常危险的。因为每一项都是近似的，只要有一项稍微差了一点，相减之后所得到的符号就会与我已经得到的结论相反。因此，这篇文章我写了1个多月，老是写不出来，泰勒老来催我，我说对这个结论我没有这么大的自信心。到现在为止，这篇文章我还是没有写出来。是不是后来有人又进行了理论计算，是否得到比较准确而又和实验符合的结果呢？我没有再去追究。

泰勒是一个匈牙利人，30年代跟海森堡做过博士后，他对化学物理学有过重大贡献。很多化学物理上的观念是他引进来的。过几天，我要和大家讨论准晶体，其中有一个想法就是与泰勒在一九四几年或是一九五几年提出的一个模型有密切的关系。

泰勒研究的东西都是非常具体的。在我的印象中，他没有写过一篇关于场论的文章。他对场论有很深的了解，但是兴趣不够。

战时，泰勒去做国防工作，在洛斯阿拉莫斯，在奥本海默主持的实验室里参与了原子弹的研制工作。关于他在那里的工作有种种的传说，主要是说泰勒的独立想法太多，大家认为，要是泰勒参加某一个组，这个组的工作就做不下去了。由于他每天都要有好几个新的主意，会使那一组人忽东忽西，不能把精力集中到一个方向去。这个说法是不是对呢？我没有问过泰勒，也没有问过奥本海默。所以我不知道，不过，这样的传说非常之多。据说，后来奥本海默想出了一个妙法。他对泰勒说："泰勒，我现在请你主持一组，专门研究氢弹。"那时原子弹还没有造出来，让他去研究氢弹，泰勒非常得意。奥本海默也觉得很好，因为他不会再搅扰别人的工作了。泰勒走后，剩下来的那些理论工作是由贝特(Bethe)领导的，他们做得非常成功，泰勒在氢弹方面做了一些研究工作，这些工作虽然做得并不十分中肯，但与以后的关于氢弹的想法有非常密切的关系。

1950年苏联爆炸了一颗原子弹。苏联爆炸之快是美国政府没有预料到的，所以当时的美国总统杜鲁门决定成立一个委员会，讨论美国要不要全力以赴发展氢弹。奥本海默是委员会的主任，费米是其中的一个成员。讨论的结果是，有的人赞成，有的人反对。两个最主要的反对者是费米和拉比(Rabi)，这是一件很有名的事件。代表多数人的报告是由奥本海默写的，赞成制造氢弹。代表少数人的报告是费米和拉比写的，他们主张先与苏联谈判，假如谈判不出结果来，再向这方面进军。杜鲁门总统看了这些报告之后，直截了当地决定美国要全力以赴制造氢弹。从那以后，泰勒就主要地转到国防上去了。大家知道，他和乌仑姆是最早发现制造氢弹原理的两个人。在此顺便提一下。中国制造原子弹和氢弹的历史在世界上很引人注意，西方的物理学家对中国的物理学发展的进度本来没有什么认识，当中国造出了原子弹以

后，西方的政府和物理学家们才知道中国有很杰出的物理学家。尤其使西方至今还没有能完全弄懂的是中国发展氢弹的速度。中国远比法国发展得快。这一点给了西方政府和科学家一个非常深的印象。他们认识到，中国有非常优秀的人才。

氢弹制成以后，1954 年发生了一件震惊全美国的事，人们称之为“奥本海默事件”。1954 年以前，从决定制造氢弹到初步制成，虽然后来奥本海默不再是直接参与者，但他是美国政府的重要参谋。政府的很多重要决策都有他参加。奥本海默这个人有时讲话对人很不客气。现在很多人相信，正是由于这个缘故，他得罪了非常重要的华盛顿的人物。所以，在 1954 年美国政府宣布：奥本海默可能对美国安全有危险。决定不再让他参加新的国防工作的讨论，并且把他的办公室里所有的档案都封存起来，搬到华盛顿去，使他不能再看到以前自己写的信件。在做出这个重要的决定之前，美国政府向奥本海默宣布两条出路，一条是奥本海默接受上面的决定，不再参与国防工作；另一条是，如果奥本海默认为这个决定不对，那么政府就要组织一个研究委员会来讨论这件事。限制他在 24 小时内选择。大家知道，这样一个委员会，名义上虽然不是法庭，实际上它的讨论等于是法庭的审判，而且又只给他 24 小时期限，这是一个非常不客气的决定。大家认为，这是因为他得罪了华盛顿的非常重要的人物，他们才这样不客气地处理他。我认为，这样的看法是对的。

后来，又经过了几个月的讨论，报纸上称为奥本海默听证会，有关情况天天都在报道。最后的结论是：美国不应该再让奥本海默做国防上的事情。这对他是一个非常大的打击。

这个听证会，费米和泰勒都参加了。当听证会的三个主持人问费米时，费米说他很熟悉奥本海默，他认为奥本海默对美国的贡献非常之大，对美国的安全绝对没有什么危险。费米非常明确

地、直截了当地站在了奥本海默一边。泰勒本来不想参加听证,而且他的很多朋友都劝他不要去。例如,有一个跟我差不多同时(比我稍晚一点)在芝加哥大学学习的人,叫玛申·罗森布鲁思(M.N. Rosenbluth),他现在是公认的世界最重要的等离子体物理的理论专家。他是在芝加哥大学跟泰勒念的博士,取得博士学位以后,又跟泰勒做了很多年的工作,所以他跟泰勒非常熟。他就跟泰勒说:"你不要去参加听证会。"可是泰勒还是参加了。后来据泰勒自己讲,在参加听证会的前一天晚上,他在旅馆里走来走去,考虑他应该怎样讲法。第二天在听证会上他讲了一段很有名的话,大意是:他并不知道奥本海默有过任何背叛美国的事情。可是奥本海默的许多决策是他所不能理解的,所以他觉得,假如美国的国防事业不放在奥本海默手里,会更安全一些。这些话产生了非常大的影响。据我的记忆,泰勒是唯一的一位杰出的物理学家,在听证会上对奥本海默采取近乎反对的态度。经过了两次听证,美国政府终于做出了刚才所讲的决定,即不让奥本海默再参加国防工作,虽然并没有起诉,说他以前做过背叛美国的事情。这件事情的发生,对奥本海默和泰勒都有极大的影响。当初奥本海默对于美国的好的作用,对于美国政府的影响被一笔勾销了。可是他在美国物理学界却得到了极度的拥护。大家一致认为,这是美国政府所做的一件非常错误的事情。与此同时,多半的物理学家认为泰勒非常不对。听证会后不几天,泰勒到洛斯阿拉莫斯去,在餐厅里吃早饭时看到了一个和他很熟的同事克里斯蒂。在战时他们曾共事多年。泰勒跑过去和克里斯蒂打招呼,想要握手。克里斯蒂不理他,走到别的地方去了。泰勒后来讲,这件事对他和他的夫人都是极大的打击。我想这是完全可以理解的。他对他的朋友,他的学生,一向都是极力帮忙的。我自己就曾经受过他很多的帮助,对于他,我是很感激的。我完全了解,一些他

从前的好朋友都跟他断绝关系,甚至藐视他的人格时,他是受到非常大的打击的。从那以后,泰勒的朋友中物理学方面的人便少起来了,这一点是他终身非常遗憾的事。

奥本海默的故事

关于奥本海默,刚才已经讲了很多了。奥本海默是1904年出生的。他在年轻时就非常杰出。20年代,美国的物理学还没有在世界上站住脚。美国念物理的人大多数到欧洲念博士学位,奥本海默也同样。他到了哥廷根,跟玻恩(Born)念博士学位。大家知道,黄昆和玻恩在50年代曾合写过一本非常有名的书。

奥本海默到了玻恩那儿以后,立刻就引起了人们的注意。大家都知道来了一个高高瘦瘦的美国人,讲起话来非常不客气。例如玻恩后来讲过一件事。奥本海默来后没多久,有一次去看玻恩。玻恩恰巧写了一篇文章,把它拿给奥本海默看。他对奥本海默说:“请你拿回去看一看,过两天再告诉我,你有什么意见。”过了两天,奥本海默把这篇文章还给了玻恩。奥本海默说:“这篇文章写得非常之好,真是你写的吗?”

奥本海默跟玻恩做的论文是一篇很有名的文章,它就是现在所谓的玻恩—奥本海默近似,奠定了用数学方法处理分子的基础。

奥本海默回到美国以后,有一个很深的感觉,觉得美国的物理学必须赶快发展起来,他在加州伯克利分校和加州理工学院两处兼职任教授,每处一年呆一个学期。他在30年代对于美国基本粒子物理理论方面是一个功臣,所有那个时候美国年轻的基本粒子物理学家可以说都是出于他的门下。他对学生非常不客气,可是他的学生都非常佩服他。他与学生的关系大概有点像朗道(L. D. Landau)与他的学生的关系。朗道对他的学生的批评非

常厉害，可是他的学生都非常喜欢他。

在1930年前后，基本粒子物理学界最重要的问题是狄拉克的理论。狄拉克的方程式是在1928年发现的，但是由于有负能问题，弄得非常紊乱。很多重要的物理学家都不相信这个理论。在这个问题上，赵忠尧先生曾做了一个关键性的贡献。他和另外两组实验物理学家各自独立地做康普顿散射实验时，发现γ射线打到原子之后发生的吸收，当元素重时，要超过克莱因和尼希拉给出的公式的结果。后来人们了解到，这正是因为产生了正、负电子对。半年以后，赵先生又独自做了另一个实验，研究有没有其它的散射方式。他发现，经原子吸收了一部分之后，再发射出来的光中的一部分不能用康普顿散射来解释。后来人们又懂了，这是正、负电子对产生以后，正电子又与另一个电子湮没。这种湮没以后出来的光是赵先生最早发现的。在赵先生做了这个实验以后1年多，两个英国人才做了同样的实验。现在回想起来，赵先生当时的工作是正确的而且是非常重要的。非常可惜的是他当时没有机会与理论物理的人讨论。那时，奥本海默已经在加州理工学院了，那正是赵先生做研究工作的地方。可是前几天，李炳安和我去访问赵先生。我问赵先生，他在1930年做完了实验时有没有和奥本海默讨论过。他的回答是，基本上没有讨论过。那时，由于种种原因，赵先生急于去德国。在那里呆了一些时候就回到中国来了。所以，他没有机会把他所做的实验，与当时对狄拉克方程式有深切了解的像奥本海默这样的人讨论。假如他当时能与这样的人讨论，一定会对他实验的意义有更清楚的了解。

奥本海默是在30年代初研究狄拉克方程式的几个重要人物之一。他曾经指出狄拉克空穴理论中的空穴不可能是质子。1930年狄拉克提出空穴理论时，认为空穴可能就是质子，原因是

那时知道的唯一带正电的粒子就是质子。奥本海默指出这是不可能的。因为假如是这样，电子很快就会跳到洞里去。他计算了电子的半衰期，发现只有 10^{-10}秒，这是一个正确的结果。奥本海默第一个提出(后来也有别人提出)，电子有电子的反粒子，质子有质子的反粒子，它们是完全无关的两种粒子。

奥本海默一生最大的贡献是黑洞。他在30年代与他的几个学生做了一些黑洞的理论。非常不幸的是，当1967年他因患癌症去世时，黑洞的存在在天体物理学中还没有被大家普遍承认，假如他再多活5年，黑洞就在天文学里被大家承认了。那将无疑是他一生对纯粹科学的贡献中最重要的。

刚才谈到了泰勒和奥本海默，这里我想再讲一个故事。

许多年来，我一直有一个印象，觉得中国的研究生兴趣太窄。对物理学方面的兴趣太窄，对一般的事情的兴趣也显得太窄。我想，这是可以理解的。因为受了家长，受了学校，受了社会的压力，每个人都必须战战兢兢地抓紧时间钻研、苦读，没有余暇关心各个方向的发展。我觉得这是一个不好的普遍现象。在石溪有很多研究生，我就劝他们多发生一些兴趣。物理系的随便什么课都应该去听一听。物理学史也应该去注意一下。

1984年夏天我到阿姆斯特丹去开一个会，是为荷兰一位资历很深的理论物理学家德·哥鲁特即将退休而召开的一个会。我去了，彭越也去了。那天到会的有很多荷兰现在最有名的物理学家，例如特霍夫特。会后，我和彭越一起吃饭，我问他，你们在中国了解不了解荷兰物理学发展的历史。荷兰是一个很小的国家，只有1000多万人。可是在20世纪物理学发展中占了非常重要的地位，有一段时期还是执牛耳的地位。如20年代，在低温技术方面，全世界没有一个国家能达到像荷兰所达到的那样低的温度。当时，荷兰是唯一做低温最成功的国家。我问彭越，对这件

事情有没有了解，他说没有什么了解。我建议他去看几本书，然后写一个简单的报告，讲讲在荷兰了解的荷兰物理学的发展历史，把范德瓦耳斯、洛伦兹、昆米尼·昂纳斯和塞曼等几个人对物理学的贡献以及他们对世界的物理学的影响写出来。这不是一篇很好的文章吗？彭越是一个工作能力很强的人。他在2个月之内就写了一篇文章，然后寄给了我。我提了一些问题还给了他，他针对这些问题又查了一些书，把它改写成了一篇非常好的文章，已经在1985年5月的自然杂志上发表了。彭越是阿姆斯特丹一个实验组的研究生，这一组要与丁肇中的一组合作，所以彭越后来又去了美国，在丁肇中那里呆了一些时候。在那里的工作结束以后，他就来石溪找我讨论，他说他对科学史很有兴趣，问我还有没有题目可以给他做。我想了一个晚上，第二天跟他说，据我所知，中国对于原子弹的发展、氢弹的发展在世界上的影响以及发展的过程，没有什么了解。此外，日本和德国是不是有过制造原子弹的企图，他们为什么没有成功，对这些也都没有什么了解。我建议他写4篇文章讨论这些问题，还给了他一些参考文献。他在不到1年的时间内，大概看了100本书，写出了5篇文章。我觉得这些文章写得很好。他关于荷兰历史的文章所讲的事情，我多半是知道的。在看了这么多书之后，他现在所写的5篇文章，里面很多的事情，我以前并不知道。他现在正在修改这些文章。我希望不久就会在国内发表。

爱因斯坦的故事

在普林斯顿，大家都知道爱因斯坦是高等研究所最有名的教授。我去的时候，他刚刚退休。70多岁了，他每天仍然从他住的地方步行到研究所去。在我的记忆中，爱因斯坦大概是不开汽车的，我没有看到过他开汽车。人们见到他每天从他的家走到办公

室，距离大概有2公里的样子。我跟他的接触很少。那个时候，研究所里有20多个博士后，我们都是20几岁的年轻人，整天讨论。我们都非常尊敬爱因斯坦，因为无疑爱因斯坦是20世纪最伟大的物理学家。可是，因为他已经退休了，我们觉得不应该去打扰他，所以我们跟他的接触并不多。

1950年前后，他把他的一本叫做《相对论》的小书，加了一个新的附录。在这个附录里，他发展了一个新的统一场论，想把电磁学和广义相对论统一起来，他做了一系列关于这个理论的演讲。

爱因斯坦在年轻时，1905年一年之内写了3篇影响极深远的文章。后来，他又发现了广义相对论。这是一个史无前例的理论，是一个集无数非常复杂的经验，用非常美妙的数学，表现了一个由纯粹思想考虑得出来的结果。我想了想，评论爱因斯坦的工作，也许最好的两个字是"深广"。他做的东西又深又广。

我介绍大家去看派斯(A. Pais)在4年以前所写的爱因斯坦的一个科学传记。以前虽然有过很多爱因斯坦的传记，但都不是真正深入做理论物理的学者所写的。这却是第一次，所以立刻就成了一本非常重要的书。书名取了爱因斯坦的一句名言。意思是说上帝不那么简单，可也不是狠毒的。上帝创造了自然，自然的规律是很妙的，但并不是故意引你入歧途，使你不懂。只要你弄对了，你就可以懂。派斯就拿它做了书的名字。

派斯是1918年生的，在普林斯顿高等研究所我们同事了十六七年，后来他到洛克菲勒大学做理论物理方面的主任。最近几年，他致力于写科学史。上述的这本书使他一举成名。最近他又写了一本关于20世纪物理学历史的书，这是一本非常有意思的书。中国自然科学史研究所邀请他，我的印象是明年他要来访问。

泡利的故事

在普林斯顿我所认识的另外一位物理学家是泡利(Pauli)。我想泡利是大家都知道的。他是1900年出生的。在物理学中他占有一个非常特殊的地位。在他非常年轻的时候,大约只有十八九岁,就写了一篇很长的文章,评述相对论。这篇文章讨论的东西又多又深入,所以立刻引起当时所有物理学家的重视。1924年他提出了不相容原理。海森堡在1925年发表了矩阵力学之后,大家都想用矩阵力学的方法求解氢原子。这是一个极难的问题,不信,你就去试一试。一个哈密顿量为 $p^2/2m - e^2/r$,要求 x, y, z 坐标与相应的动量 px, py, pz 不对易,对易关系为 $i\hbar$,这是一件非常难的事。但是,在几个月之内泡利却给解决了。所以,当时大家觉得他对物理有敏锐的了解,极浓的兴趣,同时又有极强的数学能力。

他后来还做过很多贡献,其中一个非常大的贡献,就是从40年代开始到50年代集其大成的自旋与统计之间关系的研究。大家知道自旋为二分之一的粒子是费米子,而自旋为整数的粒子是玻色子。这种关系是泡利最早在30年代到40年代发现的。他写了很多篇文章,这些文章后来导致了20世纪50年代的CPT定理。

泡利对他自己的成就是不太满意的。他在50年代曾经讲过一段话。这段话,不同的作者在写书时说他是不同的地方讲的,不过话的意思是一样的。如果大家有兴趣,可以看梅拉和瑞肯伯合写的量子力学史。这本书很多人不喜欢,它是有可以批评的地方,但是这本书是很重要的。因为梅拉在50年代做海森堡的研究生时,就下了决心要写一部量子力学史,所以,他在这几十年间经常搜集材料,而且访问了很多人,包括海森堡和泡利等人。最

后在80年代初,他和瑞肯伯合作把它整理成书。他们一共写了4卷,共5本书。他们还准备再写5本。因为他们还只讲了矩阵力学,还没有讨论波动力学。在这本书的序言里,梅拉讲了上面提到的这段话:当1958年,也就是泡利病逝的那一年,有一天泡利去伯克利演讲。当时他还不知道自己在生病。梅拉去听了。听完以后,梅拉与泡利一起去一个酒吧间喝啤酒。喝了几杯啤酒以后,他们先是讲了一些与物理无关的事情,然后,泡利对他说:"我在年轻时,觉得我是一个革命者。我当时觉得,物理里有重大的难题来的时候,我会解决这些难题的。后来,重大的问题来了,却都被别人解决了。回想起来,我那时是那么愚蠢。"我想,泡利之所以对他自己的建树不满意,是因为他是一个锋芒毕露的人。确实,在20年代中和30年代初,有过惊天动地的工作:矩阵力学和波动力学的创立以及对它们的解释,量子场论的建立,狄拉克方程的提出等。泡利一定想(大家也会这样想),他是会在这里面有最重要的贡献的,可是每一次他都不是创始之人。所以,他后来才会说出那样的一段话。

泡利是在1958年冬故去的。在1957年发生过一件事。海森堡和泡利是在20年代相识的。1921年(或1922年),海森堡初念理论物理时,泡利虽然只比他大了一岁,却已经是一员老将了。所以他们的老师索末菲(Sommerfeld)让海森堡去跟泡利学,于是他们就非常熟悉了。1925年前后,电话还比较少,他们俩经常写信。这是一件非常好的事情,因为很多信现在都保存下来了,你可以从信中看出他们的很多想法当初是怎么提出来的,还可以发现他们当初的很多奇奇怪怪的思想。在1924—1926年期间,海森堡一有想法就写信去问泡利,他想,如果泡利极力反对,他就觉得大概是不对的。这说明,泡利当时对整个物理学的发展有极大的影响。

1957年1月，吴健雄与她的合作者做出了宇称不守恒的实验。对于这个实验，泡利当初坚决认为不会得到预期的结果的。1956年下半年，人们都在讨论 $\tau-\theta$ 之谜。就在那时，吴健雄开始做这个实验。泡利不相信这个实验会证明左右不对称，证明宇称不守恒，于是他给韦斯科夫写了一封信。虽然在1956年时电话已经很多了，但是他还是保持他的习惯，每天要写好几封信。写信的对象常常是韦斯科夫，因为30年代韦斯科夫曾经做过他的助手。在给韦斯科夫的信中他说，吴健雄现在正在做左右不对称的实验，可是这是不可能的，"我可以跟任何人打赌，做出来的结果一定是左右对称的。"后来，在1957年初，他忽然收到了好几封从美国来的信，说吴健雄的实验已经做出来了，而且接着在48小时内，瑞德曼和伽文又发现了 $\pi\mu e$ 衰变也是左右不对称的。这些信收到以后，泡利说他几乎休克。然后他又给韦斯科夫写了封信，说这是不可思议的事。他说："幸运没有人跟我打赌。假如有人打赌的话，我就要破产了，因为我没有这么多财产。现在这样，我只是损失了一点名誉。可是，我有足够多的名誉，损失一点不要紧。"

1957年以后，物理学界对于对称性原理发生了兴趣。大家纷纷讨论对称性。最重要的一点是要了解 C 和 T 是不是对称。在吴健雄的实验里，也证明了 C 是不对称的，这只要经过一些推演，立刻就会得到。而 T，当时还没有发现不对称。这一类工作当时做的人很多。

另一类工作是讨论别的种类的对称性，以及是不是对称性可以把当时的物理学的问题都解决。采取后面这种想法的是海森堡。他在1957年下半年想出了所谓的"世界方程式"。他认为可以用对称原理把当时物理学的一切问题都解决，例如质子质量与电子质量之比。精细结构常数1/137等。他把泡利拉了进去。

在那以前30多年他们俩是非常亲密的合作者。到50年代,两个人都是50多岁时,又一次合作。这次合作,每天都有进展。在美国每天看见泡利来一封信,信上有时这样讲:"我们现在得到了质子的质量与电子的质量差1000倍。这还不太对。"当你坐在美国,忽然看见这两位大物理学家说是比例已经达到1000了,虽然比1800还差得很多,却不能不认为这是惊人的贡献。第二天又来了一封信,说是已经达到1300了。物理学界就这样传来传去,都觉得,通过对称原理能得到这个结果是惊人的,可是没有人知道是怎么回事。

1958年初,泡利要到美国去。去之前,因为他与吴健雄很熟,经常与吴健雄通信:"请你找很少几个人,我愿和大家讨论海森堡和我的这个理论。"于是吴健雄就去安排,只通知了很少几个人。当时,恰巧美国的物理年会在纽约召开,会议的地点在纽约闹市的一个旅馆里。一天下午,在哥伦比亚大学泡利做了一个秘密演讲。他的本意是给十几个人或二十几个人讲,没料到却到了400人。泡利后来自己讲,在这次演讲时,他越讲就越觉得这个理论是不对的。演讲之后,又有些人问了一些问题。这些问题表明绝大多数在座的人包括我在内,都觉得他们所做的东西完全是虚构的。戴逊从那里出来时,对外特曼讲:"假如他们这两位像今天这样乱搞的话,也许我们应该回去研究研究,他们在1925年所做的工作是不是也是不对的。"

这次演讲之后不几天,泡利就去了伯克利。梅拉就是在那里见到他的。他到了伯克利之后,就写信给海森堡,说是他现在已经不相信这个理论了。海森堡回信给他,一定要拉他继续研究这个理论。结果是,越搞两个人的关系就越坏。后来,德国的报纸忽然登载一条新闻,接着美国的报纸也登了,说是海森堡和泡利解决了物理学里重大的基本问题。泡利看到后非常不高兴。那

篇报道上还讲，海森堡说他们的这个基本理论都已经完成了，只是有些细节还没有填进去。泡利是一个常常用非常尖锐的话刺人的人，所以就写了封信给海森堡。信上说："我完全不同意你昨天所讲的话。"然后，他在底下画了一张图，图上是一个方框，里面什么也没有。泡利写道："我可以和蒂希恩(一个名画家)画得一样好，只是有些细节还没有画上去。"

1958年夏，在日内瓦开国际高能物理学会。大家知道，国际高能物理学会是马尔夏克(R.E. Marshak)的一个重大的贡献。他从1950年(或1951年)开始组织，最初的规模非常之小。第一次到会的只有30人，开了1天会。第二次60人，开了2天会。第三次有100人，开了3天会。以后人数就慢慢地增加，后来就变成了国际性的。1958年的会议全高能物理学界非常重视，是在CERN(西欧原子核研究中心)召开的，那时CERN的房子还是新的。会上出现了一件非常稀奇的事情。有一天下午，泡利担任主席，海森堡作报告。报告他和泡利的理论。海森堡是20世纪大物理学家，而且非常会讲话。他讲得头头是道。他讲完以后，泡利就开始攻击他。我不知道当时有没有录音。这是我从来没有见到过的、两个重要的物理学家当众这样不留情面的互相攻击。当时给我的印象非常深的就是海森堡对这个问题的处理方法。他非常安静。泡利越是不客气，讲话越是尖锐，海森堡就越安静。给人一种看法，似乎是泡利不太讲理。当时大家不知道，泡利已经病得很厉害了，3个月之后就死掉了。

海森堡的故事

刚才提到了海森堡。他在1925年发表了划时代的文章。大家知道，1913年玻尔(N. Bohr)提出的理论有非常正确的地方，可是也有不对的地方。到1925年以前，一直是非常紊乱的状态。

海森堡抓住了其中的重要之点是，人们关于轨道讨论了很多，但是没有人看见过轨道。海森堡认为，看不见的东西，你不可以乱用，只准用那些看得见的东西。而什么是你可以看得见的呢？例如频率、衰变几率等。于是他就利用这种想法，写出了一个新的力学。这个力学是很不完整的，但是最重要之点都讲出来了。特别重要的是 A 乘以 B 不一定等于 B 乘以 A。可是，他是一个很年轻的人，对数学知道得很少，所以他不知道，他写出来的 $AB \neq BA$ 以及他很多演算，其实就是矩阵运算。这是海森堡的一个特点。

海森堡的很多文章，都是对的东西和错的东西都有。例如刚才所讲的那篇划时代的文章，我想是 20 世纪最重要的几篇文章之一。可是文章写得并不清楚。他不是把问题都看得很清楚的。有许多是他的直觉的见解。所以他死了以后，很多人对他的评论是：他的最可贵之处是他知道问题在什么地方，而且对这些问题有他的直觉的见解，但是他的这种直觉的认识不是用最清晰的数学和物理的方法表示出来的。他的文章有时甚至是前后矛盾的。不过，在他的文章里确实含有一针见血的东西。

再举一个最有名的例子。1926 年初他又解决了一个重要的问题。在他 1925 年的文章发表以后，玻恩和约尔丹合写了一篇文章，这是很有名的一篇文章，称为两个人的文章。海森堡的文章后来称为一个人的文章。然后他们三个人又合写了一篇文章，叫做三个人的文章。这一个人、二个人和三个人的文章就是矩阵力学的开始。过了半年多，又发生了一个问题。用矩阵力学虽然可以解出氢原子的能级，而且符合巴耳末公式，但用到氦上面就不行了。大家知道，1913 年的玻尔理论用到氢上也是非常准的，而对于氦，搞了十几年，还没有搞清楚。所以，把氦搞清楚是当时必须马上做的事情。问题出在氦的态有正氦与仲氦两种，它们的

自旋结构不同，一个是平行的，另一个是反平行的。这两种态能量相差很多，几乎有一个电子伏特。

当时有这样一个故事。有一位非常有名的物理学家叫戈德斯密特，他是与乌伦拜克(G. E. Uhlenbeck)最早发现自旋的人。他在1926年到哥本哈根去访问，玻尔给了他一个题目，玻尔说："你去研究研究为什么氦的仲氦与正氦同态，能级却差了这么多。"几年以后，戈德斯密特讲，他当时拼命去想，想出来的办法是引进一个自旋与自旋之间的相互作用。(因为他知道自旋有一个磁场。)可是，能量相差极小，使他茫然不知所措了。

海森堡也在研究这个问题。他在很短的时间里就抓住了问题的中心所在，这就是要求氦原子的两个电子的波函数是反对称的。而正氦与仲氦自旋波函数的对称性是相反的，一个是对称的，一个是反对称的，所以它们的空间波函数的对称性也应该是相反的。这直接地影响到它们之间的库仑力。这样，就解决了能量差别问题。

在海森堡的这篇文章中，第一次引进了波函数交换对称性与基态能量的关系。这无疑是一个巨大的贡献。但是，如果你去看这篇文章，你就会觉得他的文章是不清楚的。有这个重要的观念在里面，也有些乱七八糟的东西在里面。海森堡的文章向来都是这样。所以，后来人们认为，他的最重要的贡献是他直觉地了解到什么问题是重要的，而且他也能直觉地找到如何去解决这些问题的方法，但是他不是一个最能把这些问题从头到尾，清清楚楚地表述出来的人。

狄拉克的故事

下面我要讲狄拉克，我第一次看到狄拉克是在50年代，在普林斯顿。他那时常常从剑桥到普林斯顿访问。有时访问一二个

礼拜，有时候访问一年。

狄拉克是一个话讲得不多的人。你问他三句话，他回答你一句话。例如有一个非常有名的故事，他有一天到一个非常著名的学校去演讲，演讲完了以后，主持演讲会的人说："你们有什么问题，可以问狄拉克教授。"这时，有一个学生站起来说："刚才你在黑板上写的那个方程式我不懂。"狄拉克没有回答，好长时间都没有回答，于是主持人就问："狄拉克教授，您可不可以回答这个问题？"狄拉克说："那不是一个问题。"

又例如，他在另一次演讲时，经过一系列的讨论最后得出了一个结论。演讲完了以后，有一个学生站起来说："我没有懂这点，可不可以请您再解释一下？"于是狄拉克就又解释了一下。那个学生说："您现在的这个解释与刚才的那个解释完全一样。"狄拉克说："对了，因为这是最好的解释。"

狄拉克第一次在物理上的最重要的贡献是在1925年听了海森堡的报告之后做出的。海森堡在他的一个人的文章还没有印出来之前，到剑桥作了一个报告，狄拉克在场。这个报告给了狄拉克一个启发，他后来就去发展海森堡的想法。狄拉克独立地写了一些文章，是与二个人，三个人的文章差不多同时。可是，狄拉克发展的方法不但不同于海森堡的方法，而且与玻恩和约尔丹的方法也不一样。狄拉克的物理学有他非常特殊的风格。他把量子力学整个的结构统统记在心中，而后用了简单、清楚的逻辑推理，经过他的讨论之后，你就觉得非这样不可。到1928年他写出了狄拉克方程式。对他的工作最好的描述是"神来之笔"。

狄拉克的想法跟别人的想法都不一样。当时像泡利、海森堡、玻恩、朗道和佩尔斯等一些很重要的物理学家，都在做很重要的东西。而狄拉克做的东西跟别人的不一样，推理的方法也不一样。

海森堡给泡利写过一封很著名的信。在1928年海森堡做出了另外一个巨大的贡献，就是他指出了，所以有铁磁性的原因是：波函数的反对称性要引进交换力，它使相同的自旋产生负库仑作用，这是铁磁性的基本结构。海森堡的信就是他在做这一工作时写给泡利的。在信上他说："我们一直被狄拉克的想法的不可理解的神奇所烦恼。"因为他不懂得狄拉克是怎样想的，所以有些烦恼。他说："为了避开这些烦恼，我现在不想这些问题了，转而去想一想磁铁的问题，于是做出来了这件工作。"

我想，这些话是他的真心话。海森堡当时还是想做基本粒子方面的工作的。可是他发现，狄拉克的文章中所写的每次都跟他们的想法不一样，狄拉克对问题的认识常常能正中要害。这是狄拉克一生中工作的最重要的特点。你去听他的演讲，也有这样感觉。他的每一步跟着的下一步，都有他的逻辑。而他的逻辑与别人的逻辑不一样，但是非常富有引诱力。跟着他一走之后，你就觉得非跟着他走不可。最后往往忽然得出了一个非常稀奇的结果。所以我想了想，说他是"神来之笔"。

大家都知道有这样一副对联，其中的一句是"秋水文章不染尘"。你看狄拉克的文章，就会有这种秋水文章不染尘的感觉。他的文章没有一点渣子。你跟着他走总觉得妙不可言，而且最后得出的是没有人能预先想象得到的东西。例如狄拉克方程式，就是一个惊人的贡献，因为在那以前，自旋一直是硬加进去的。在他写出这个方程以后，自然地从 $\pm 1, \pm i$，得出一个自旋来，而且磁矩是完全对的。这正是狄拉克一生工作的特别的地方。下面我们将要讨论的磁单极也是他的神来之笔。

昂萨格的故事

昂萨格(Onsager)大概是于1908年出生的挪威人。他在欧

洲获得博士学位，来美国后，长期在耶鲁大学教化学。他是不大讲话的人。你问他问题，他有时只是笑一笑，并不回答。有时，他跟你讲一些什么，但是讲的东西你却听不太懂，因为他讲的东西是不连贯的，讲话的内容跳去很多。昂萨格在讨论问题时总是讲得不多，讲完以后，就冲你笑，而你不大懂他在讲些什么。

大家知道，他最重要的贡献，在化学上是昂萨格倒易关系，而念物理的人所知道的，则是他在 1943 年—1944 年解决的二维 Ising 模型。这个工作在 60 到 80 年代变得非常重要，因为 60 年代的一些实验，发现昂萨格得到的解具有某种普遍性。它不只是一个特殊的模型，而是对于相变有普遍意义的结果。

他是用什么办法求解的呢？在他之前(30 年代末)，克拉默(H. A. Kramers)、沃尼(G. H. Wannier)和蒙脱(E. Montroll)三个人分别独立地做过这方面的工作。他们研究了一个二维空间的 $N\times$ 无限长的晶格的相变。他们把这个过程的热力学函数或配分函数，变成了一个 $2^N\times 2^N$ 方阵的本征值问题。如果会解这个方阵的本征值，就可以算出配分函数。

昂萨格在 1944 年发表了一篇文章，把一个 $N\times$ 无限长的问题完全解了，还包括了无限长×无限长的情况。我记得很清楚。我在中国念书时，是跟王竹溪先生念的统计力学，我的硕士论文是跟着王先生做的。王先生是念统计力学的，所以我的论文也是做的统计力学的问题。那时我就曾听说过昂萨格的这个解。后来在芝加哥大学念书时，我又研究了这个解。这个解非常之难懂，因为文章里公式非常之多。他把公式 A 套到公式 B 里，得到公式 C，如此搞来搞去。我去验算，果然每一步都是对的。我当时的感觉是被他牵着鼻子到处乱走，忽然走出一个结果来。不懂得为什么这样翻来复去。后来在 1949 年，昂萨格的一个学生，是叫考夫曼(B. Kaufman)的女物理学家，与昂萨格一起发表了另

一篇文章，把他原来的办法改换了一下，才变成可以懂了。在那以后我也做了一些这方面的工作。

60年代里有一天，我与昂萨格在同一个机场候机，没有事情，闲谈起来。我说："我现在要问问你，你在打仗时怎么把 $N\times$ 无限大的 Ising 问题给解决的呢？当时，我看你的文章得到的印象是你把代数的东西乱转了一下子，换来换去最后忽然得出了一个结果来。这显然不是你当初做的时候用的办法。你那样好象是无目的地在那里做来做去。"他回答说，当然不是的。他说，他没有去打仗。当时学生比较少，他有很多的时间来研究这个问题。开始他研究 $2\times$ 无限长，是 4×4 的方阵，很容易解，他把本征值解出来了。然后，他研究 $3\times$ 无限长，这是 8×8 方阵，要多费一二天，他也解出来了。这样解来解去，对于这个问题他就非常熟了。他越做越快。等到他解出了 $3\times$ 无限长时，$2\times$ 无限长的解他一分钟就可以做出来了。于是，他又解 $4\times$ 无限长，这是 16×16 方阵，又要花费好几天。最后，他做到解 $5\times$ 无限长，这是 32×32 方阵。如果你直接从 32×32 方阵求解，那会使你觉得是没有希望的。但是，当他经验多了以后，越做越快，这样 32×32 方阵，他也会做了。做完以后，他回过头来看一看，发现 32×32 方阵的本征值都是：$e^{\pm\gamma_1\pm\gamma_2\pm\cdots}$。当然，这句话不完全对，如果是这样简单的话，在小一点的方阵时，他早就发现这种规律了。不过，大致是这样，差不多是这样的。32×32 方阵有32个本征值。它们是由上面式子中正负号有三十二种排列方法得到的，实际的结果比这里所讲的要复杂一些，所以他在矩阵小的时候没有发现这个规律。由这个规律，他发现这个矩阵代数必须是乘积代数，于是他就用这种代数关系拼命去交换，将交换得到的东西再去交换，这就形成了他在那篇文章里给人的印象似乎是乱兜了一阵子。这个故事我写在了我的选集的后记中。我觉得这是一个很

好的例子。它说明了一种得到深入结果的方法。多半的深入的结果，都是如此地从很多的例子中得来的。你一个例子、一个例子的试，最后才能掌握它的规律，然后你才能把它扩大。这就回到了我开始所讲的，你从近的距离才能发现规律，然后把这些规律加以变化或是推广，你才可以有大的进展。

结 束 语

最后，我想跟大家谈一个问题。常常有同学问我，做物理工作成功的要素是些什么。我想，要素可以归纳为三个"P"：Perception、Persistence and Power。

"Perception"——眼光，看准了什么东西要抓住不放。"Persistence"——坚持，看对了要坚持。爱因斯坦在1908年看准了，他要写出一个很大的对称性的方程式来解释引力，经过了七八年的努力，在1916年终于写出了广义相对论。"Power"——力量，有了力量，能够闯过关，遇到困难你要闯过去。

如果一个物理学家有眼光，能坚持，而又有很大的力量，那么我想他的成功的可能性就会很大。

王淦昌先生与中微子的发现

本文作者为李炳安、杨振宁，原载中国《物理》杂志，1986年15卷12期。台北时报出版公司出版的《读书教学再十年》转载时略有修正。

在粒子物理的历史中，中微子是“基本”粒子家族中特别神奇的一员，自从1930年泡利(W. Pauli)①提出中微子可能存在的假说和1934年费米②提出划时代的β衰变理论以后，环绕着中微子的理论和实验工作很多，其中一个中心问题是如何直接验证它的存在。关于这个问题，从1934到1941年间文章很多，可是都没有找到问题的关键，这是因为中微子不带电荷，而且几乎完全不与物质碰撞③(譬如，可以自由地穿过地球)，不易直接用探测器发现。1941年10月王淦昌先生在浙江大学(那时正值抗日战争，浙江大学搬迁到贵州省遵义市)写了一篇短文④，提出用K电子俘获的办法寻找中微子。在确认中微子存在的物理工作中，是王淦昌先生一语道破了问题的关键。这是一篇极有创建性的文章，此后的10余年间，陆续有实验物理学者按照这一建议做了许多实验，终于在50年代初成功地证实了中微子的存在。

中微子假设和费米理论(1930—1934年)

卢瑟福(Sir Ernest Rutherford)于1898年在卡文迪什

(Cavendish)实验室研究放射性时,命名放射物质辐射出的两种射线分别为 α 射线和 β 射线。贝克莱(Bucherer)和纽曼(Neumann)分别于 1909 年和 1914 年用测量荷质比(e/m)的办法证实 β 射线是电子束。查德维克(Chadwick)在 1914 年发现 α 射线和 γ 射线的谱是分立的,而 β 射线的谱却是连续的。后者似乎与原子核处于分立的量子状态的事实不一致,产生了所谓能量危机,即所谓能量不守恒问题。为了解释此问题,玻尔(N.H.D. Bohr)认为在放射 β 射线时,能量仅在统计的意义下守恒,对于单个反应并不守恒。可是泡利持有另一种看法。他在 1930 年提出,在原子核内部除存在质子和电子外(当时认为原子核是由质子和电子构成的)还存在一种自旋为 1/2 的电中性粒子(当时泡利称它为中子),它带有磁矩,在 β 衰变过程中,它与电子同时被放射出来。由这一机制可以解释 β 谱的连续性,而能量守恒依然保持。但是,泡利对于自己猜想的可靠性并不是信心十足。1931 年泡利访问普林斯顿时,在纽约的一个中国饭馆吃饭,与拉比(I.I. Rabi)聊天谈到他的"中子"假说时说[5]:

> 我认为我比狄拉克聪明,
> 我不认为我将发表它。

(当时,真正相信狄拉克理论的人很少。)在 1931 年的 Pasadena 会议上,泡利重申了他的新粒子假说,并指出,按照这一假设可以预言,β 射线的能谱有一个尖锐的上限,但是按照玻尔的能量不守恒的看法,β 谱将有一个强度逐渐衰减的长尾巴。

1934 年,费米提出了划时代的 β 衰变理论。他的理论依据有以下三点:

1. 泡利的中子假设(费米改称为中微子)。
2. 海森堡的原子核由质子和中子构成的结构模型[6]。

3. 与原子的光辐射理论相类似⑦,在 β 衰变中电子和中微子被产生出来。

在费米理论中 β 衰变的基本过程是:

$$n \rightarrow p + e + \bar{v}$$

费米算出了 β 衰变的连续谱,与1933年实验测到的 ReE 的 β 谱比较十分吻合。据此,费米进一步推断中微子质量是零,或至少比电子质量小得多。费米理论推翻了在 β 衰变中能量不守恒的观点,为一类新型的相互作用——弱相互作用的研究奠定了基础。不仅如此,在这一理论中费米第一次使用了费米子的产生、消灭算符,这在当时的理论界造成了极大的冲击,开始了现代场论研究的新时代[1][2]。西格芮(E. Segrè)回忆费米创建这一理论后说⑧:

> 按照费米自己的估价,这是他在理论方面最重要的工作。他告诉我,由于这一发现,他将被人们所记住。

在费米理论提出后不久,居里(I. Curie)和约里奥(F. Joliot)⑨发现了放射正电子的反 β 衰变,威克(G. C. Wick)提出⑩,在费米理论中存在:

$$p \rightarrow n + e^{+} + v$$

这种反 β 衰变过程(当时,威克称这一过程中的中微子为反中微子)。威克和稍后的贝特(H. Bethe)和佩尔斯(R. Peierls)⑪根据费米理论又预言了轨道电子俘获过程:

$$p + e^{-} \rightarrow n + v$$

的存在。这一重要过程由阿尔瓦雷斯(L. M. Alvarez)⑫于1938年观察到了。

1941 年前寻找中微子的实验

费米理论为中微子的存在奠定了坚实的理论基础。当时的重要问题是，如何从实验上确认中微子的存在。由于中微子不带电，这类实验在当时相当困难。1941 年前已经有许多这方面的实验。

1．β 衰变中的能量关系

埃利斯(C.D. Ellis)和莫特(N.E. Mott)[13]于 1933 年分析了下面两个过程：

$$ThC \xrightarrow{\beta} ThC' \xrightarrow{\alpha} ThD$$
$$ThC \xrightarrow{\alpha} ThC'' \xrightarrow{\beta} ThD$$

他们指出，在考虑了放射 α 和 β 粒子之后放射的 γ 射线的能量修正，所得到的 ThC 和 ThD 的能量差恰恰是这两个过程中 α 粒子的能量和 β 粒子能量最大值的和。

2．β 谱的上限

海德逊(W.J. Henderson)[14]于 1934 年发现，ThC 和 ThC' 的 β 谱的上限确如泡利所预言的那样是急剧中断的，不是按玻尔的能量不守恒观点所预言的那样是一个强度逐渐衰减的长尾巴。实验支持了中微子假说。

哈克斯拜(R. O. Haxby)、索普(W. E. Shoupp)和韦尔斯(W.H. Wells)[15]于 1940 年研究了下面两个循环过程：

$$p + B^{11} \rightarrow C^{11} + n, \quad C^{11} \rightarrow B^{11} + e^{+} + v;$$
$$p + C^{13} \rightarrow N^{13} + n, \quad N^{13} \rightarrow C^{13} + e^{+} + v$$

他们测量了这两个 β 衰变过程中反应前原子核质量(m_i)和反应后原子核质量(m_f)的差：

$$m_i - m_f = \begin{cases} 0.95 \pm 0.02\text{MeV} & C^{11} \rightarrow B^{11} e^+ v \\ 1.20 \pm 0.04\text{MeV} & N^{13} \rightarrow C^{13} e^+ v \end{cases}$$

而这两个过程的 β 衰变的上限分别由莱曼(E.M. Lyman)[16]和德尔赛色(L.A. Delsasso)等[17]测得，其值为：

$0.95 \pm 0.05\text{MeV}$ ($C^{11}\beta$ 谱上限)；

$1.198 \pm 0.006\text{MeV}$ ($N^{13}\beta$ 谱上限)。

可以看到这些 β 谱的上限与相应的衰变前后的原子核的质量差符合得很好。

这些实验证实，在 β 衰变过程中，衰变前后的原子核的质量差等于 β 谱的最大能量，从而用实验证明，在 β 衰变过程中能量仅在统计意义下成立的观点是不正确的。

3. β 衰变中的动量守恒

在 1933 年 10 月举行的第七届 Solvay 会议上，泡利报告了他的中微子假说，并指出对 β 衰变中动量守恒的研究将对中微子假说提供一个重要的检验。按照 β 衰变的费米理论，在 β 衰变中存在动量守恒是很显然的。

雷帕恩斯基(Leipunski)[18]于 1936 年做了第一个测量 β 衰变中原子核反冲的实验。反应过程是：

$$C^{11} \rightarrow B^{11} + e^+ + v$$

由于实验精度不高，这个实验不能构成对中微子假说的真正的检验。

在 1938—1939 年的期间，克莱恩(H.R. Crane)和海尔帕恩

(J. Halpern)[19]写了两篇关于中微子的论文，其中第一篇的题目是《对中微子存在的新实验证据》。他们做的是反冲实验，文章的题目说明，他们认为测量 β 衰变中的反冲效应是可以证实中微子的存在的。他们测量反应

$$Cl^{38} \rightarrow A^{38} + e^{-} + \overline{v}$$

的原子核的反冲和电子的动量。他们测量了电子在磁场中的偏转和原子核在云雾室中的射程。结论是，如果这个反应系统仅由原子核和电子构成，那么动量是不守恒的。从动量守恒的观点来看，要求中微子存在。

从以上这些实验可以看到，实验支持中微子存在的假说，但一直没有实验能毫无疑义地直接地证实中微子的存在。

王淦昌先生的建议(1941 年)

从以上的介绍可以看到，从 1930 年底到 1941 年这 10 多年间，围绕中微子问题的理论和实验工作十分活跃，许多物理学家对这一问题的研究作出了杰出的贡献。这一问题所以重要，是因为当时 α、β 和 γ 射线中最神秘的是 β 射线，而 β 射线与中微子有不可分割的联系。

环绕中微子的工作虽然多，但是没有人能提出简单而又有决定性意义的实验证实中微子的存在。1941 年，王淦昌先生自贵州给美国《物理评论》杂志寄去一篇文稿[4]，该文于 1942 年初在该杂志上发表，文章开始就说：

> 众所周知，不能用中微子的电离效应探测它的存在。测量放射元素的反冲能量和动量是能够获得中微子存在的证据的唯一希望。

他在分析了克莱恩和海尔帕恩的反冲实验后指出，在他们的实验

中反冲元素的电离效应太小，很难测量，需要用不同的方法探测中微子。他建议用K电子俘获的办法探测中微子的存在。他指出：

> 当一个β^+类的放射元素不放射一个正电子，而是俘获一个K层电子时，反应后的元素的反冲能量和动量仅仅依赖于所放射的中微子……
>
> 只要测量反应后元素的反冲能量和动量，就很容易找到放射出的中微子的质量和动量。
>
> 由于没有连续的β射线被放射出来，这种反冲效应对所有的元素来说是相同的。

以上的三段引文是王淦昌先生建议的三个关键点。换句话说，他指出一般β衰变是三体衰变，如：

$$A \to B + e^+ + v$$

但在K俘获过程中

$$A + e^- \to B + v$$

末态只有二体，所以元素B的反冲能量是单能的，而且测量B的能量即可得到关于中微子的知识。譬如测量元素B的反冲能量即可测量中微子质量。王淦昌先生同时指出，这种反冲能量的单能性质对于所有这类反应（不同的反应元素）都存在。

王淦昌先生在文中作为例子建议用Be^7的K电子俘获过程去探测中微子的存在。Be^7的K电子俘获过程由罗伯兹（R.B. Roberts）、海登伯格（N.P. Heydenburg）、劳其尔（G.L. Locher）[20]和龙堡赫（L.H. Rumbaugh）、罗伯兹、霍夫斯塔德（L.R. Hafstad）[21]分别于1938年进行了研究。Be^7是在下面的反应中形成的：

$$Li^6 + D^2 \rightarrow Be^7 + n$$

它的寿命是43天。Be^7 有下面两种 K 电子俘获过程：

$$Be^7 + e_K \rightarrow Li^7 + v$$

$$Be^7 + e_K \rightarrow (Li^7)^* + v$$

$$\quad \hookrightarrow Li^7 + hv$$

第一种反应占90%，第二种反应占10%。上述两组人测得这两个反应的初末态原子核的质量差分别为：

$$M_{Be^7} - M_{Li^7} = 1\text{MeV}$$

$$M_{Be^7} - M_{Li^{7*}} = 0.55\text{MeV}$$

$$M_{Li^{7*}} - M_{Li^7} = 0.45\text{MeV}$$

王淦昌先生假定中微子质量为零，用 Be^7 和 Li^7 的质量差算出第一个反应中的 Li^7 的反冲能量为77eV，而第二个反应中的 Li^7 的反冲能量为这个数值的三分之一。

大家知道，1941年正值中国人民抗日战争的艰苦时期，王淦昌先生又在地处偏僻的贵州遵义，当时消息十分闭塞，闭塞的程度可从下面的事实推测出来。他显然不知道哈克斯拜[22]于1940年就已得到 Be^7 和 Li^7 的质量差为0.87MeV，比王淦昌先生采用的1MeV精确。

王淦昌先生建议的实现(1941—1952年)

从1942年开始到50年代初，实验物理学家按王淦昌先生的建议进行了一系列的工作，最终确认了中微子的存在。

1. 阿仑(J.S. Allen)[23]的 Be^7 K电子俘获实验

王淦昌先生的文章刚发表几个月，阿仑就按照这一建议做了

Be^7 的 K 电子俘获实验。在这个实验中测量到 Li^7 的反冲能量，但由于用的样品较厚及孔径效应，没能观察到单能的 Li^7 反冲。

十分可惜，他的实验因为当时实验条件限制，没能测到单能反冲，没有能够完全实现王淦昌先生的建议，战时实验条件不够理想，所以单能反冲至战后 1952 年才被实验证实。假如单能反冲在 1942 年观察到，一定会在物理学界中产生很大的冲击。

2. 莱特(B.T. Wright)[24]的 Cd^{107} 的 K 电子俘获实验

莱特在 1947 年做了 Cd^{107} 的 K 电子俘获实验。这里共有三种反应：

$$Cd^{107} + e_K \rightarrow Ag^{107*} + v \qquad (占 99.27\%)$$

$$Cd^{107} + e_K \rightarrow Ag^{107**} + v$$
$$\quad \hookrightarrow Ag^{107*} + hv \qquad (占 0.42\%)$$

$$Cd^{107} \rightarrow Ag^{107*} + e^+ + v \qquad (占 0.31\%)$$

在这个实验中确实观测到由 K 电子俘获产生的 Ag^{107*} 的反冲，但也没有发现单能的 Ag^{107*}。另外，这个实验有一个较大的本底，即 K 电子俘获后，其他外层电子填充这个位置，放出的 X 射线有 24keV 的能量，由此也可以造成较大的 Ag^{107*} 的反冲，对于 Be^7 的 K 电子俘获来说，这个能量只有 75eV，由此造成的反冲就小得多。

3. 施密斯(P.B. Smith)和阿仑的 Be^7 电子俘获实验[25]

施密斯和阿仑在 1950 年重新做了 Be^7 的 K 电子俘获实验，得到 Li^7 的最大反冲能量为 56.6 ± 1.0eV，与理论预言值相符合，但仍不是单能反冲。

4. 楼德拜克(G.W. Rodeback)和阿仑的 A^{37} 的电子俘获实验[28]

楼德拜克和阿仑在 1952 年用气体样品和飞行时间法做了 A^{37} 的轨道电子俘获实验：

$$A^{37} + e_K \to Cl^{37} + v \qquad (占 93\%)$$

$$A^{37} + e_L \to Cl^{37} + v \qquad (占 7\%)$$

这个实验在世界上第一次发现单能的反冲核。Cl^{37} 反冲能量的实验值与理论预言值完全符合。预言 Cl^{37} 的飞行速度为 0.711 ± 0.04cm/ns，测到的速度峰值为 0.714cm/ns。

5. 戴维斯(R. Davis, Jr.)的 Be^7K 电子俘获实验[27]

在楼德拜克和阿仑的实验发表了一个多月之后，戴维斯发表了他的 K 电子俘获实验结果。他测到 Li^7 的反冲能量为 55.9 ± 1.0eV，理论预言为 57.3 ± 0.5eV，实验值与理论值符合。

从 1941 年王淦昌先生提出确认中微子存在的办法后，历经 10 年，到 1952 年实验确认中微子的存在。

注：

[1] 韦斯科夫(V. Weisskopf)说，费米理论是现代场论的第一个例子。见参考文献①。

[2] 维格纳(1902－1995)曾告诉杨振宁说，1934 年他看到费米的关于 β 衰变的文章后，觉得费米使用了费米子的产生算符是很神奇的一步。杨说："可是产生算符是你和约尔丹(Jordan)发现的。"维格纳说："是的，是的，可是我们做梦也没有想到可以用它去解释物理现象。"

参考文献：

① 关于泡利提出中微子假说的前前后后可以参考 L. M. Brown,

Phys. Today, 31(1978), 23。

② E. Fermi, *Ric. Scient*, 4－2(1934), 491; *Nuovo Cimento*, 11 (1934), 1; *Zeit. Phys.*, 88(1934), 161.

③ 贝特和佩尔斯在1934年估计中微子的俘获过程:

$$v+(A,z)\rightarrow(A,z\pm1)+e^{\mp}$$

的截面为$10^{-44}(cm)^2$,使得在很长一段时间内无法用中微子反应的方法证实中微子的存在。见 *Nature*(London), 133(1934), 532。

④ Kan Chang Wang, *Phys. Rev.*, 61(1942), 97.

⑤ D.F. Moyer, *A.J. Phys*, 49—11(1981), 1055.

⑥ 关于海森堡提出原子核结构模型的历史可以参考文献:E. Amalti, Beta Decay Opens the Way to Weak Interactions, *Inter. Coll. on the History of Particle Physics*, Paris(1962), C8—261.

⑦ E. Fermi, *Rev. Mod. Phys.*, 4(1932), 87.

⑧ D.F. Moyer, *A.J. Phys.*, 49(1981), 1120.

⑨ I. Curie and F. Joliot, *C.R. Acad. Sci Paris.*, 198(1934), 254.

⑩ G.C. Wick, *Rend. Lincei*, 19(1934), 319.

⑪ H. Bethe and R. Peierls, *Nature*(London), 133(1934), 689.

⑫ L.M. Alvarez, *Phys, Rev.*, 54(1938), 486.

⑬ C.D. Ellis and N.E. Mott, *Proc. Roy. Soc.*, A141(1933), 50.

⑭ W.J. Henderson, *Proc. Roy. Soc.*, A147(1934), 572.

⑮ R.O. Haxby, W.E. Shoupp, W.E. Stephens, and W.H. Wells, *Phys. Rev.*, 58(1940), 1035.

⑯ E.M. Lyman, *Phys. Rev.*, 55(1939), 1035.

⑰ L.A. Delsasso, M.G. Whit, W. Barkes, and E.C. Creutz, *Phys. Rev.*, 58(1940), 586.

⑱ Leipunski, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 32(1936), 301.

⑲ H.R. Crane and J. Halpern, *Phys. Rev.*, 53(1938), 789; *Phys. Rev.*, 56(1939), 232.

⑳ R.B. Roberts, N.P. Heydenburg, and G.L. Locher, *Phys. Rev.*,

53(1937), 232.

㉑ L.H. Rumbaugh, R. B. Roberts, and L.R. Hafstad, *Phys. Rev.*, 54(1938), 657.

㉒ Haxby, Shoupp, Stephens, and Wells, *Phys. Rev.*, 58 (1940), 1035.

㉓ J.S. Allen, *Phys. Rev.*, 61(1942), 692.

㉔ B.T. Wright, *Phys. Rev.*, 71(1947), 839.

㉕ P.B. Smith and J.S. Allen, *Phys. Rev.*, 81(1951), 381.

㉖ G.W. Rodeback and J.S. Allen, *Phys. Rev.*, 86(1952), 446.

㉗ R. Davis, Jr., *Phys. Rev.*, 86(1952), 976.

赵忠尧与电子对产生和电子对湮灭

本文作者是李炳安、杨振宁。原载 International Journal of Modern Physics A, Vol. 4. No. 17, p4325, 1989。中译文载《杨振宁谈科学发展》，八方文化企业公司，1992 年。译者为李炳安、张美曼。

本文分析了赵忠尧 1930 年所做的实验，在促使物理学家于 1933—1934 年间接受 QED(量子电动力学)理论的过程中所作的贡献。文章指出布莱克特(P. M. S. Blackett)和奥克里尼(G. P. S. Occhialini)在 1933 年提出的关于空穴理论的关键性的建议是建立在这样一个基础上，即确认赵忠尧的“额外散射射线”是来自电子对湮灭。

引　言

狄拉克的无穷电子海理论[①]是 20 世纪物理学史上的一个里程碑，现在它作为粒子物理学基础中的一个重要部分已被人们完全接受，然而在历史上，有一个时期人们不接受这个理论[②③]，是 1932 年正电子的发现[④]和后来人们对于电子对产生和电子对湮灭现象的理解[⑤]，扭转了形势。

实际上，对产生和对湮灭过程在实验中早几年已被发现，但是它们在理论上没有被理解。这些较早的发现报告如下：

(a) 1930 年 5 月间,英国剑桥的泰伦特(G. T. P. Tarrant)[6]、德国柏林—德莱姆的霍普费尔德(H. H. Hupfeld)[7]和在美国帕沙地那(Pasadena,加州理工学院所在地)的赵忠尧[8],这三组物理学家彼此独立地提出了他们的论文。这三篇论文,记述了他们各自的发现,即发现了钍 C″的能量为 2.65 百万电子伏特(2.65MeV)的 γ 射线被重元素的"反常吸收"。

(b) 在 1930 年后期,赵忠尧发表了一个新实验的结果[9],在这个实验中他发现了钍 C″的 γ 射线在铅中的"额外散射射线"。

回想起来,论文(a)报告了对生产过程的最早观察,论文(b)是对湮灭过程的最早的观察。在随后的两年里,1931—1932 年间,"反常吸收"和"额外散射射线"在理论物理学家中引起了极大的注意,为了了解赵忠尧文章的影响,在这儿我们引用安德森(C. D. Anderson)1983 年文章[10]中的一段话:

> 我在加尔泰克的研究生论文的工作,是用威尔逊云雾室研究 X 射线在各种气体中产生的光电子的空间分布。在我进行这一工作期间(1927—1930),赵忠尧博士在一个与我紧邻的房间工作,他用验电器测量从钍 C″放射出的 γ 射线的吸收和散射。他的发现使我极感兴趣。在当时普遍认为"高能量"γ 射线(钍 C″的 2.6 百万电子伏特的射线)的吸收几乎全部是由康普顿(A. H. Compton)散射造成,这种散射可以用克莱因—仁科(Klein-Nishina)公式去描述。赵博士的结果十分清楚地表明,吸收和散射的实验结果都比用克莱因—仁科公式算出的值大得多。由于从验电器的测量很难得到更详尽的资料,因而从他的实验不可能对这些反常效应做出详细的解释。我提出一个实验,用在磁场中运行的云雾室去研究钍 C″的 γ 射线物质的相互作用。这样可以观测插在云雾室中的薄铅板中产生的次级电子,测量它们的能量分布,从而我们可以研究从赵的实验可以得

出什么更进一步的结论。

另外，在早川幸男(S. Hayakawa)[11]写的一篇以他和奥克里尼在1980年的一次谈话为内容的文章中，有如下一段话：

> 奥克里尼对赵的成就评价很高，他讲述了赵 ThC″γ 射线的反常吸收的研究是如何激起了甚至远在英国的他们的有关研究。

今天，安德森和奥克里尼就是这样强调赵的工作，是赵的工作在1930年早期激发了他们的引人注目的工作，这个工作帮助物理学家改变了他们对量子电动力学的理解。

在这篇文章里，我们追寻历史的踪迹，叙述1930年中"反常吸收"和"额外散射射线"的发现史，在这段历史中赵忠尧起了主要的作用。

背　景

在1930年前后，物理学领域里发生了许多重要事件，这是一个极其活跃、令人兴奋而又十分混乱的时期。

原子核是否是由电子和质子组成的？这个问题是这场大混乱中的一部分，因为在那时，电子和质子是(除了光子以外)人们所知道的仅有的两个基本粒子，所以很自然地，人们假定原子核是由它们组成的，但是这个假定遇到了巨大的困难[12][13]。另一个混乱起因于这一事实，即 β 衰变的能谱似乎是连续的，它导致玻尔[13]和其他人提出能量在 β 衰变中不守恒。

从一个比较理论性的角度看，狄拉克方程和空穴理论在当时引起了极大的烦恼和反省，绝大多数显赫的物理学家都反对它[14]，当然，每一个人都承认狄拉克用一个纯数学的方法对电子自旋和磁矩进行成功解释的辉煌成就，但是人们普遍认为，负能量海的存在是狄拉克理论的一个缺陷。泡利曾经说道[14]：

任何一个有这样一个缺陷的理论，即使与经验相符合，也纯属偶然。

针对这样的背景，人们以极大的兴趣从实验方面去研究一些包含有电子的基本散射过程，例如康普顿散射，以便检验理论计算。在当时有三种不同的康普顿散射的理论计算公式。

(1) 康普顿公式[15]

康普顿从汤姆逊(J. J. Thomson)的经典理论出发，但考虑了波长的变化和反冲效应，他得到的截面公式为：

$$\sigma=\frac{8\pi e^4}{3m^2c^4}\frac{1}{1+2\alpha} \tag{1}$$

这里 m 是电子质量，$\alpha=\frac{h\nu}{mc^2}$。与汤姆逊经典理论不同的是，对于硬 γ 射线，出射波集中在向前的方向。然而，从量子理论的观点看，正如康普顿本人所指出的，这不是一个正确的理论。

(2) 狄拉克[16]**和戈登(W. Gordon)**[17]**公式：**

狄拉克和戈登从量子力学出发，用了不同的方法，得到了相同的公式：

$$\sigma=\frac{2\pi e^4}{m^2c^4}\frac{(1+\alpha)}{\alpha^2}\left|\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha}-\frac{1}{\alpha}\ln(1+2\alpha)\right| \tag{2}$$

但是没有考虑电子自旋。

(3) 克莱因一仁科公式[18]

$$\sigma=\frac{2\pi e^4}{m^2c^4}\left|\frac{1+\alpha}{\alpha^2}\left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha}-\frac{1}{\alpha}\ln(1+2\alpha)\right]+\frac{1}{2\alpha}\ln(1+2\alpha)-\frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2}\right| \tag{3}$$

这个公式是将狄拉克的相对论波动方程嫁接到经典辐射理论上

得到的。在狄拉克提出空穴理论[1]之后，狄拉克[19]和沃勒（V.I. Waller）[20]证明，用空穴理论做二次微扰计算，得到了与克莱因（O.Klein）和仁科（Y.Nishina）相同的结果[21]。

公式(1)、(2)和(3)有相同的低能极限，但对高能光子，也就是"硬 γ 射线"，它们是不同的。为了检验这些理论计算和区别这三个理论，在 1929—1930 年间，测量硬 γ 射线吸收系数的三个实验[6]—[8]分别由赵忠尧在帕沙地那、泰伦特和格雷（L.H. Gray）在英国的剑桥及迈特纳（L.Meitner）和霍普费尔德在柏林—德莱姆完成。

反常吸收

赵忠尧教授于 1902 年诞生于中国浙江省。1925 年他从东南大学毕业后，在清华大学当叶企孙教授的助教。1927 年夏天，赵忠尧来到美国，进入加州理工学院成为密里根（R.A. Millikan）教授的研究生。为了检验克莱因—仁科公式(3)，密里根让赵忠尧测量硬 γ 射线在各种物质中的吸收系数。1986 年，赵在谈话中说[22]，起初密里根倾向于相信狄拉克—戈登的公式是与当时的宇宙线实验资料符合的，而不相信克莱因—仁科公式。

在接近 1929 年年底时，赵忠尧完成了他的实验。他发现轻元素对硬 γ 射线的吸收系数与克莱因—仁科公式相符合，但对重元素，例如铅，吸收系数的实际值比用这个公式算出的理论值大得多。开始，密里根不相信他的实验结果，因此有几个月赵的文章没有提交发表。幸运的是，鲍恩（L.S. Bowen）教授对赵忠尧的实验了解得很详细，他说服密里根，使他相信赵的实验是可靠的，并且建议尽快将赵的论文送出发表[22]。论文提交的日期[6]是 1930 年 5 月 15 日，在此之前两周，1930 年 4 月 29 日，赵的实验结果已提交给国家科学学术协会[23]。

泰伦特[6]、迈特纳和霍普费尔德[7]独立地得到了实验结果，实验结果的主要方面与赵的一样，但在细节上有一些不同；(a)在泰伦特的实验结果中，吸收系数对物质原子数的依赖关系是不规则的[24]，而在迈特纳和霍普费尔德的实验结果有一个“跳跃”[25]（图1），他们的结果导致了争论。与此相反，赵的实验结果是相当平滑的，没有争议的。(b)他们用的探测器十分不同，按照赵忠尧1986年说的[22]，他的探测器是由一个有25个大气压的高压电离室和一个真空验电器构成，是比较可靠的。图2表明，这实际上是一种谨慎的陈述。

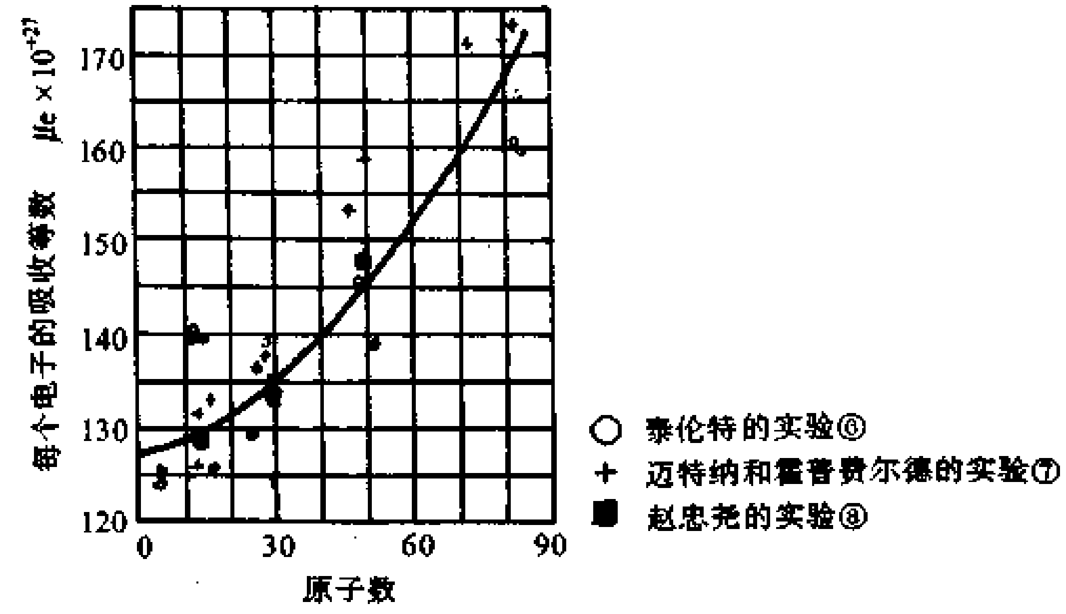


图1　在1930年做的关于反常吸收实验的实验的比较。

三个实验用不同的符号表示：

这张图是从泰伦特的文章(*Proc. Roy. Soc.*, London A 135, 223 (1932))相应的图复制的，将原图中杰可伯逊(Jacobson)的实验结果和泰伦特后来的实验结果去掉了。泰伦特1930年的实验点是我们加上的。曲线是泰伦特在1932年画的，与赵1930年的实验资料符合得很好。

在这三个实验中都发现的硬γ射线在重元素中的额外吸收，被称为“反常吸收”或“迈特纳—霍普费尔德效应”，这后一个专有名词最初来源于迈特纳和霍普费尔德的朋友。在那时，这三

篇出版了的论文[6][7][8]都猜测，这种反常的吸收是由某些还不知道的原子核效应造成。

“额外散射射线”

为了获得关于硬 γ 射线在物质中吸收机制的更多资料，赵忠尧在完成他的第一个实验后，很快开始进行一个新的实验，去研究散射后的射线的强度和角分布。(见图 2)

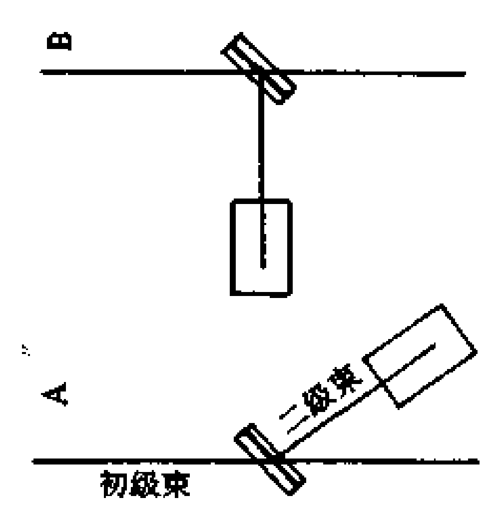


图 2 赵忠尧第二个实验的示意图取自赵忠尧的文章，载于 *Science Reports of Tsing Hua University* 1, 159 (1932)

由于散射后的射线比背景弱，这个实验做起来难度大。实验的结果发表于 1930 年[9]。一年之后，其他的实验组才参加到这个努力中来，去研究散射后的射线。而且，这些后来者的努力所得出的实验结果是不清楚的、非决定性的，并引起了争论，这些争论分散了理论工作者的注意力，并且十分不幸地减弱了由赵忠尧的发现所引起的冲击。在后面的第六节中，我们将再回到这些问题上。

赵忠尧在他的第二个实验中[9]发现了下列现象：

(a) 伴随着反常吸收，从重元素散射出来的还有“额外散射”放射。

(b) 这样一个“额外散射”放射在实质上是各向同性的。

(c) 测到的额外散射线的波长为 22X. U，对应于能量为0.5 MeV 的光子。

令人印象深刻的是，赵的这些结论都是正确的，他发现了正

负电子对的湮灭现象！在这个过程中

$$e^+e^- \to \gamma\gamma \tag{4}$$

每一个光子的能量近似为1/2百万电子伏特这确确实实的是由赵忠尧发现的。然而，在当时没有人理解赵忠尧这个发现的理论意义，直到很晚的时候人们才懂得它的意义，在下一节中我们将讨论这一点。

解释这些现象的一些尝试

从1930年中期到1933年初这两年半时间里物理界面临着三个课题，后来知道它们都是量子电动力学的一部分：

反常吸收

额外散射射线

狄拉克理论

在那时对于狄拉克理论有深入的讨论，其中包括奥本海默、塔姆(I. Tamm)和狄拉克对于湮灭过程(4)的反应截面的计算[27]，但是这些作者中没有一位将这一过程与赵忠尧发现的额外散射射线联系起来。(这很可能是由于当时原子核物理处于一个很混乱的时期，因此很自然地将赵的结果和反常吸收这二种奇异现象归入原子核现象。)

我们没有找到在这一期间写的关于额外散射射线的理论文章。(请看后面的第六节。第六节中说明了1933年人们从对产生和对湮灭角度得到的决定性的理解是建立在额外散射射线的基础上，而不是建立在反常散射的基础上。)

对于反常吸收，那时有许多理论讨论。奥本海默[28]尝试用光电效应来解释这个现象，但得到了量子力学是错误的结论，这篇论文在当时很得人心。海森堡[29]和伽莫夫[30](G. Gamow)猜想这

个现象是由某些原子核过程引起的。

这些理论工作都没有取得大的进展，仅仅是在1932年9月安德森[4]发现了正电子及在他之后几个月布莱克特和奥克里尼[5]用他们漂亮的带触发系统的云雾室得到了许多正电子之后，人们才开始提出正电子通过物质时有什么性质[5]。为了解决这个问题，布莱克特和奥克里尼想到了狄拉克早先时候有关湮灭过程(4)的计算[22]，他们提出，赵忠尧发现的额外散射射线是由电子对湮灭产生的。

布莱克特和奥克里尼也猜想，正电子是在对产生过程中产生的，但是他们没有得出量子电动力学的(正确的)在重原子核的库仑(C.-A. de Coulomb)场中正负电子对产生过程的思想。但是，几个月之间，奥本海默和普莱赛特(M.S. Plesset)[31]用狄拉克理论(也就是量子电动力学)表达和发展了这个思想，他们发现，计算结果与早些时候实验上发现的反常吸收相符合。此外，安德森也在云雾室观察到了由光子产生的正负电子对[32]。

在1933年之后，由于澄清了这些问题，量子电动力学进入了一个在各种应用中得到巨大成功的时期，唯一仍然使人困惑的问题是理论中的发散困难。

关键性的值0.5MeV

布莱克特和奥克里尼[5]的文章产生巨大影响的原因不仅是由于他们报告了新发现的带正电电子的大量事例，也由于他们建议了“反常吸收”和“额外散射射线”分别是由于电子对产生和电子对湮灭引起的，这些事使物理学家对狄拉克理论的正确性所具有的感性认识发生了变化。在他们的文章中，有关这个问题关键性的一段是：

也许重原子核对γ射线的反常吸收与正电子的形成有关

而再发射的射线与它们的消失有关。事实上，实验上发现，再发射的射线与所期望的湮灭谱有相同的能量等级。　(A)

*格雷和泰伦特，*Proc. Roy. Soc.*, A, Vol. 136, p. 662 (1932)；迈特纳和霍普费尔德，*Naturwiss.*, Vol. 19, p. 775 (1931)；赵忠尧，*Phys. Rev.*, Vol. 36, p. 1519(1931).　(B)

段落(A)是杰出的物理记录，而注解(B)则是粗心的历史学认识，特别是注解中有关赵忠尧的部分非常糟糕，在这个注解里有两个印刷的、或是由粗心造成的错误：(i)赵在《物理评论》上的文章发表在1930年，而不是1931年，比另外两篇文章早一至二年，(ii)所有三篇被引用的文章与额外散射射线有关，与反常吸收无关，虽然文中加星号的文章是为反常吸收而引用的。

更重要的是，布莱克特和奥克里尼的论点实际上仅建立在赵忠尧文章的基础上，只是，如我们所指出的，这个事实被这个错误的不加区别的注解弄模糊了。布莱克特和奥克里尼得出了杰出的见解(A)，即前面引用的他们的文章《假设的正电子的性质》中的一段话。这段话一开始就提出问题："为什么正电子没有被观察到？"接着道：

> 这一点是清楚的，由于在通常情况下它们不与物质一起出现，所以它们的生命是有限的，似乎是这样，很可能它们通过与负电子的相互作用而消失，形成两个或两个以上的量子。

他们接着说，这个消失的机制"直接来源于狄拉克的电子理论"，这一点他们对狄拉克说过。狄拉克曾给他们看过1930年的文章，在那篇文章里给出了湮灭截面。布莱克特和奥克里尼断言狄拉克理论预言了正电子寿命"对于在云雾室中看到正电子足够长，并对于解释为什么在其他途径中没看到正电子足够短"。接着说，不管怎样，观察到湮灭过程是可能的，因为它产生峰顶为

0.5MeV 的光子光谱。接着，就是前面引用的段落(A)。

这一系列论证描述的是重要的物理学。他们也表明布莱克特和奥克里尼的论证注意的**焦点是湮灭过程**。这个过程的识别是由于“额外散射射线”的强度增强处与湮灭的射线的谱在0.5MeV处有一个峰值在实验上发现是一致的(引文〔A〕)这个事实，额外散射射线的能量在实验上～0.5MeV，是他们的**最关键性**的理由。

由于某种原因，布莱克特和奥克里尼没有提到这一点[33]，即他们引用的三篇文章中(这三篇文章都与额外散射射线有关)**只有赵忠尧**的文章给出了**正确的关键性的值 0.5MeV**，迈特纳和霍普费尔德的文章比赵的文章晚一年，并且根本没有发现额外射线。格雷和泰伦特的文章(1932 年)比赵的文章晚两年，他们在～0.47MeV 处发现了这样一个额外散射射线，但是他们在～0.92MeV 处还发现了一个分量，这把事情弄得非常混乱，并且即使在后来 1934 年的文章中这个分量仍然没有去掉[34]。

很自然地人们会奇怪为什么在布莱克特和奥克里尼的整个文章中，在引用 1930 年的三篇文章时一点也没提及反常散射。(这已引起了比额外散射射线更多的注意，因为它发现得较早，并且实验上困难较少，请阅前面第三节。)回答是：它们不是布莱克特和奥克里尼论证的焦点。他们论证的焦点是湮灭过程。此外，布莱克特和奥克里尼没有指出**在库仑场中**电子对产生的机制，这后来在理论上是由奥本海默和普莱赛特研究的[31]。

调查一下对产生和对湮灭的发现史[35]，我们对于赵忠尧的实验印象很深，这些实验探究了重要的问题，并且这些实验难度很大，从他的对手在反常吸收实验和额外散射实验中所陷入的困境可以看出实验的难度。这些实验具有古典美——简单、可靠且经得起时间的考验[36]，很不幸由于布莱克特和奥克里尼文章中对参

考文献粗心的引用和由其他实验引起的混乱和争论，赵的文章没有得到应有的评价。

作者感谢布朗(L. M. Brown)和爱克斯朋(G. Ekspong)的意见，这些意见对这项工作是有帮助的，作者也感谢国家基金委员会(NSF)的部分支持，基金号码 PHY8507627。

参考文献：

① P. A. M. Dirac, *Roy. Soc.*, London 117, 610(1928); 118, 351(1928); 126, 360(1930).

② 阅参考文献⑭⑬㉕。

③ 阅 G. Gamow 的著作 *Thirty Years that Shook Physics* (Double Day, 1966)中谈到的，在 1930～1932 年间在哥本哈根流传的关于狄拉克"傻电子"(Donkey electron)的笑话。

④ C.D. Anderson, *Science* 76, 238 (1932).

⑤ P.M.S. Blackett and G.P.S. Occhialini, *Proc. Roy. Soc.* A139, 699 (1933).

⑥ G.T.P. Tarrant, *Proc. Roy. Soc.* A128, 345 (1930).

⑦ L. Meitner and H.H. Hupfeld, *Naturwiss.* 18, 534(1930)，这个实验的详细报告刊载在 *Z. Phys.* 67, 147 (1931)。

⑧ C.Y. Chao, *Proc. Nat. Acad. of Sci.* 16, 431(1930)，这个实验更全面的报告刊载在 *Science Reports of Tsing Hua Univ.* 1, 159 (1932)。

⑨ C.Y.Chao, *Phys. Rev.* 36., 159(1930)，这个实验更全面的报告刊载在 *Science Reports of Tsing Hua Univ.* 1, 159 (1932)。

⑩ C.D. Anderson and H.L. Anderson, *The Birth of Particle Physics*. 编辑是 L. Brown and L. Hadsson(Cambridge, 1983), p. 131.

⑪ S. Hayakawa, *Shizen* (*Nature*), Sept. 1980, p.75，后来由早川幸男为杨振宁翻译，注的日期是 1985 年 7 月 4 日。

⑫ H.A. Bethe, *Proc. of a Symposium on the 1930's Nuclear Physics in Retrospect*，编辑者 R.H. Stuewer(Univ. of Minnesota, 1977), p.11 and E.

⑬ L.M. Brown, *Phys. Today* 31,23 (1978).

⑭ D.F.Moyer, *Am. J. Phys*.49,1055 (1981).

⑮ A.H. Compton, *Phys. Rev*.21, 483 (1923).

⑯ P.A.M. Dirac, *Proc. Roy. Soc*. Ser.A111, 405 (1926).

⑰ W.Gordon, *Z. Phys*.40,117(1926).

⑱ O.Klein and Y. Nishina, *Z. Phys*.52,853(1929).

⑲ P.A.M. Dirac, *Proc. Camb. Phil. Soc*.26,361(1930).

⑳ V.I. Waller, *Z.Phys*.61,837 (1930).

㉑ 注意这一点是十分有趣的，即在1932年正电子发现之后泡利仍旧反对空穴理论。1933年6月泡利提交了一篇关于光子被一个运动的电子散射的文章，在这篇文章中他没有用无旁海的概念，但他引用了狄拉克和沃勒。按照莫厄(D.F.Moyer)在 *Am.J.Phys*.49,1123(1981)谈到的，在1935—1936年间泡利在讲演中称他的工作和韦斯科夫关于标量介子的工作为"反狄拉克理论"。实际上泡利是为他不喜欢空穴理论找理由，关于这些莫厄有详细引用。

㉒ 在1986年6月2日我们在赵教授的住所访问了他。

㉓ C.Y. Chao, *Proc. Nat. Acad. Sci*. XVI,421 (1930).

㉔ 阅参考文献⑥、㉕和 G.T.P. Tarrant, *Proc. Roy. Soc*.A135, 223 (1932).

㉕ L.M.Brown and D.F. Moyer, *Am.J.Phys*.52.130 (1984).

㉖ 阅参考文献⑦㉔㉕。

㉗ J.R.Oppenheimer, *Phys. Rev*. 35,562,939(1930); *Nature* 125,616 (1930); I. Tamm, *Z. Phys*. 62,545(1930); P.A.M. Dirac, *Proc. Camb. Philos. Soc*.26,361 (1930).

㉘ J.R.Oppenheimer, *Phys. Rev*.38.57 (1931).

㉙ W. Heisenberg, *Z. Phys*. 77, 1 (1932); 78, 156 (1932); 80, 587 (1933).

㉚ G.Gamow, *Constitution of Atomic Nuclei and Radioactivity* (Clarendon, Oxford, 1931), pp. 79—82.

㉛ J.R. Oppenheimer and M.S. Plesset, *Phys. Rev.* 44, 53 (1933).

㉜ C.D. Anderson, *Science* 77, 432 (1933).

㉝ 请对照第一节中引用的早川幸男在1980年与奥克里尼的对话。

㉞ L.H. Gray and G.T.P. Tarrant, *Proc. Roy. Soc.* A143, 681, 705 (1934).

㉟ 阅 J.D. Stranathan, *The "Particle" of Modern Physics* (Blackiston, 1942), 和 R. A. Millikan, *Electrons, Positive and Negative, Protons, Photons, Neutrons, Mesotrons and Cosmic Rays* (Univ. of Chicago Press, 1947), 在1940年代对这些发展的评论。

㊱ 1931年赵忠尧在回国途中在德国做了第三个实验，实验是关于反常吸收对入射束波长的依赖关系；*Proc. Roy. Soc.* A135, 206 (1932)。1933年他与龚祖同一起发表了他们在中国国立清华大学做的第四个实验：*Nature* 132, 709(1933)。这篇文章附有卢瑟福写的一个有意思的评注：

"从随信寄来的文章可以看出，很显然赵和龚还没有听说最近的有关正电子的工作，特别是电子对产生，一个高能 γ 射线在原子核的强电场中转变成一个负电子和一个正电子。他们叙述的实验给这个现象提供了几个有价值的证明。并且无疑地这个实验用对产生现象解释比用核的蜕变解释好。注意到这一点是有意思的，即效应的量值与别的实验发现的大致相同。"

陈嘉庚青少年发明奖及教育问题

——与(新加坡)潘国驹谈话记录

本文作者为潘国驹,原刊新加坡《联合早报》1986年12月31日及1987年1月1日。收入《宁拙毋巧——杨振宁访谈录》,新加坡世界科技出版社,1988年10月,标题为《与杨振宁谈陈嘉庚青少年发明奖及教育问题》。编者对本文标题和文字略有改动。

诺贝尔奖得奖人杨振宁教授将于下月20日来我国,为第一届陈嘉庚青少年发明奖主持颁奖仪式。

陈嘉庚青少年发明奖是杨振宁教授的倡议,由中华总商会陈嘉庚基金会创立。

这是我国第一次颁发这种发明奖。一个以国立大学物理系潘国驹教授为主席的委员会负责遴选我国青少年所发明的产品。

倡议我国设立青少年发明奖的杨振宁教授是国际著名的物理学家,现年64岁,是美国纽约州立大学理论物理研究所主任。他目前正领导几名科学家,协助我国制订有关工程和物理学的政策。

陈嘉庚青少年发明奖委员会主席潘国驹教授最近趁到美国开会之便,在纽约访问了杨振宁教授。

以下是访谈的主要内容:

潘：杨教授你可否谈谈在新加坡设立青少年发明奖有什么好处？

杨教授：有很大的好处，因为种种道理，一部分是中国传统的影响，一部分是在新加坡或亚洲其他地方，如日本、中国，以及台湾、香港等地区都是考试考得非常的厉害，在这种情形下，会动手而不会考试的年青人，常常变得困难很多，甚至不能进大学，社会上应该注意到这是对社会发展很不利的一件事情。我们知道每一个国家都有一些年青人很会动手，可以做很重要的贡献，而必须把这些人解脱出来，所以，我觉得陈嘉庚基金会创立青少年发明奖，是能够鼓励一些年青人动手，是件非常好的事。

会动手的意思

潘：杨教授是不是能更具体讲一讲会动手的意思？

杨教授：我想近代科学无论是生物学、化学、物理学或地质学，大体上都有两类相辅相成的活动，一部分是需要动手，会做实验的人，另一部分是比较着重理论，这两方面都是非常之重要。美国在20世纪前70年工业发展得很快，这与美国在这方面的传统有很密切的关系，美国这方面的传统是始于上世纪向美国西部开发为起点。在那时候，有许多美国年青人是赤手空拳，凭他们自己的手去开发西部，比如B. Young，他带领一组人到犹他州(Utah)。那时候犹他州是不毛之地，他们就是赤手空拳把犹他州的经济建立起来，在这种草莽初创的阶段，会动手的人，在社会上的贡献是显而易见的，这一点美国在这一世纪还是深深受到这种精神的影响。40年前，我刚刚到达美国的时候，只做理论，而不做实验的人最不受看重，最近50年，这种情形有些改变，这并不是甚么稀奇的事情。任何一个文化，越是长久，就会趋向于理论。美国最近有这种趋向，不过比起其他亚洲、欧洲国家，美国还

是对实验精神的重要性有比较深刻的认识。

重视考试原因

潘：你是否同意在亚洲国家，一般上都比较重视考试，读死书而不太注意动手，原因在哪里？

杨教授：事实上，除了传统因素之外，还有其他的道理。因为亚洲国家大学的学位有限，必然出现竞争很激烈的现象，显然，考试是很重要，自然的后果是会考试的人占便宜，而不会考试的就很吃亏，我自己非常了解这种经验。我初到美国，本来想写有关实验物理的论文，倒不是我擅长或特别爱好实验，正因为我自己没有接触到实验物理，而这方面是一片空白，实验物理又是物理的精神所在。后来到了实验室之后，发现这并不是我的特长，在实验室内，看到了一些同学，理论物理念得不太好，但是实验的本领特别大。当时给了我一些自卑感！有一位叫 W. Arnold 的同学，他对实验室内发生的问题有一种直觉的感觉，而知道自己用什么办法去解决。我记得很清楚，我们实验室内常常会漏气，需要找漏气在什么地方，由他去找，往往两分钟就找到，而我往往要花上两个钟头还得不到要领。他找到了之后，我问他为什么能找到漏气的地方，他也解释不出来。第二天仪器又漏气，我到了昨天漏气的地方，可惜，位置又不同了，而他却能很快又找到了。通过这些现象，我的印象是有一些人对实验有直觉的了解，而我是没有的，可是 W·Arnold 在芝加哥大学并没有通过博士学位的鉴定考试，而需要转去另一间大学修完他的博士学位。像他这种人，在实验物理上，会有很重要的贡献，但是，在强调考试的制度下，他的才能不能好好地发挥，我想陈嘉庚基金会创办的青少年发明奖希望可以使这一类的问题少发生。

培养优秀人材

潘：杨先生你是否可以谈谈在新加坡，以及台湾、香港等地区的环境下，我们是不是可以培养出像丘成桐(数学家，获得类似诺贝尔奖)、李远哲(化学家，获得1986年诺贝尔奖)这样突出的人材？

杨教授：我个人认为，对一个非常有数学或者实验科学天分的年青人，新加坡、香港、中国大陆、韩国这些受到中国传统影响很深厚的地区，所给年青人的教育是好的，尤其是对特别有天分的人，如丘成桐、李远哲等，他们是属于百分之一内的优秀人材。在中国传统教育的制度下，他们可以很快地，很扎实地把学科中的主要东西吸收进去，不必要走很多弯路。这个教育方法与美国大学教育方法很不一样，美国的大学教育方法长于使学生懂得很多皮毛的东西，可是实际的根基并不扎实。比较这两种制度，中国传统对有特别天才的人有很大的好处。像这些人，如果大学毕业后，能够到研究气氛很浓厚的研究院深造，他比较容易成功。他已经没有后顾之忧了，基本的东西都扎扎实实，不但对他在做"跳跃"有极大的好处，并且对他的心理状态也有很大的帮助。美国的教育政策下，使有些人，在表面上，大家觉得他光芒四射，可是当他遇到了一个研究工作竞争很激烈的问题时，他有时会气馁，因为他忽然发觉到他以为很懂得的东西，当初根基没有弄好，所以并没有懂。像这类的人，我见了很多，这些人后来发生了心理上的困难，工作也做得不理想，中国传统出来的就不容易发生这种现象。

潘：日本教育制度也有这种现象？

杨教授：对了，日本也是同一制度，那么这种能力强的人，有很好的根基，然后再通过一个有很浓厚研究气氛的第二次的研究院教育，再加上适合他的研究领域，他能有大成就的机会就很高。

所以，你问我像新加坡式的教育，对有特别天分的学生将来有机会到具有浓厚研究气氛的学术机构做研究是好还是不好，我认为是好的。不过，对那些不是最有天分的学生，比如对80%至99%的学生，对这些人来说，中国的传统教育是不是最容易有成就？这个问题就比较复杂，一方面有好处，因为根基扎得好，固然有很多好处；另一方面也有它的坏处，在这种教育制度下，有许多人往往变成胆子小，他们从训练阶段开始，就养成一种习惯，即不敢发“奇想”，觉得先哲已经这样，那样做过了，我是那么渺小，怎么能超过前人？这种无形的观念，对这些学生有很大的约束，对80%至99%的学生，我们可以说，中国传统的教育有好，也有坏处。

第一流科技人材

潘：你是否能进一步谈谈在新加坡、中国，以及香港、台湾等地区的环境，是否没有办法培养出获取诺贝尔奖这一类的杰出人材。

杨教授：假如你讲的是与实验有关的学科，我认为这种说法是对的，与实验设备有关的学科，因为工业没有发展到工业国家的水平，社会资源不足够，我觉得目前新加坡、韩国、中国大陆及台湾、香港是不容易训练出世界第一流的科技人材。所谓第一流，我在这里是指，他们的工作在10年之内是这学科中最重要，最有影响力的工作之一。不过有一学科，是可以的，这个学科是纯数学。当然，纯数学在这些地区也不是能在短期内能产生许多一流的人材。不过，假如有人告诉我，最近中国有一个二十几岁的年轻人忽然解决了黎曼假设(Riemann Hypothesis)这个久未解决的数学难题，我是完全能相信的。中国实际上在闭门造车的情况下，过去20年内出现过几个人做了相当重要的工作，例如在厦门长大的陈景润所提出的有关数论的问题，湖南有一位年青人解

决了 Markov Process(马可程序)的难题，这个工作，后来在英国得了一个奖。他们这些贡献，并不是我们所讲的第一流工作。当然，不能与丘成桐的贡献相比。不过最稀奇的是他们这几个人都是在非常闭塞的条件下做出这些工作。所以假如现在有人忽然告诉我，中国某某偏僻的地方，有人解决了"黎曼假设"的难题，我是完全可以相信的，毫无疑问，这是我所讲的第一流工作。

潘：在新加坡，以及香港或台湾等地是否可能做出有水平的电脑软件的工作？

杨教授：完全可能，计算机软件方面的革命性创见，在美国常常是由十几岁，东西懂得很少的年青人想出来的，而且这方面与数理逻辑有密切的关系。和数学一样，忽然有人告诉我，中国有人解决了数理逻辑的基本难题，我完全能相信，中国有10亿人口，有数学天才的人多得不得了。

潘：新加坡、以及香港、台湾等地方都非常重视考试、死读书，在这种情形下，是不是很难培养出有独立思考、有创见的学生？

杨教授：这里有两个问题，第一个问题是一个人做比较复杂、尖端的研究时，需要经费，需要社会的支持。这方面，日本、美国占很大的便宜，在新加坡、中国大陆，以及香港、台湾等地都比较吃亏。第二个问题是精神的问题，家长是不是很鼓励孩子们这样去做。在美国，小孩受到很多鼓励，在新加坡、日本、中国大陆，以及台湾、香港等地方，这个鼓励比较少，这与传统教育的哲学、大学学位不够多以及制度等都有关系。

鼓励小孩多动手

潘：动手或不动手的工作，最重要是做出成绩，杨先生是否能谈谈这方面的方法和态度的问题？

杨教授：第一问题也有很多人已经注意到的，就是不同的人，动手的能力差别很大。刚才我讲到，经过18个月在芝加哥实验室的工作，证明我动手的能力很小。有些人天生动手的能力很强，像这种会动手的人，如果给他一个环境，他可以发展成一个人材，他可以发明，可以解决问题。另外一点，假如这个小孩很会做无线电，他父母告诉他不要整天去做这件事情，这是不务正业，这样下去会考不上大学，这是严重的事情。这种情形下，家长、老师和社会追使这个小孩放弃他自己或许有天才的方向。这点我想也许就是陈嘉庚基金会所想要纠正的地方。确实有些小孩很会做动手的工作，应该给适当的鼓励。这些奖金给了之后，我希望能影响大学的招生委员会的见解。假如招生委员会见到了一个学生，考试成绩并不突出，但得过陈嘉庚青少年发明奖，而能给这个学生一个入学机会。如果能做到这一点，从长远来说是有好处的。

有成就者的态度

潘：一个人如果想在学术上或工作上有比较大的成就，应该注意哪几方面，态度应该怎样？

杨教授：这方面我有几点意见，我可以分几个层次来谈这个问题。首先，我所讲的意见，是中国传统的社会与西方传统的社会可能不大一样。并不是我的意见有迥异，事实上，不同社会，因为过去的传统不一样，所需要的新的态度也不一样。在中国传统的社会，第一件事，学生和家长值得考虑的是：不是每一个普遍念书念得不错的学生，都可以在研究工作中做出成绩的。因为中国传统社会的家长与老师给我的印象是如果这个小孩念书念得不坏，就要让他念研究院，念完研究院，就要得博士学位，假如有大博士学位，大大博士学位还应该继续念下去。我觉得这个观念是

错误的，每一个学生与家长都应该注意到这一点。在美国这种情形就比较少。第二个层次，是对已经念得很好，而且已经走进研究路途的年青人，我所指的是受中国传统影响的学生，我也有一个建议，往往这些年青人有一个趋向，即将自己约束在一个狭小的范围内，约束在一个狭小的范畴内并不是完全没有好处，他可以一下子走到前沿，因为他并不管其他方面的发展，不过这样做会有一个极大的危险，假如他走的方向，后来没有什么东西可以做的话，他没有习惯走到另外一个方向，主要是他所训练的范围太狭，我觉得一般讲起来、从中国传统影响的地方训练出来的人，普遍的兴趣会过于狭小。

潘：为什么兴趣会太狭呢？

杨教授：因为在学校的时候就教导他好好的念某些东西，不要胡思乱想。有时恰巧碰到合适的范围，可能有大的发展。不过，一般来说对研究生的训练是不利的。一个研究生最重要的是训练独立思考的能力，而不是一个只会专门做一件事的人。"博士"顾名思义是要博，英文叫做 Doctor of Philosophy。Philosophy 指的是总的思想方向，一个人兴趣比较广，可以应付整个学术界前沿方面的千变万化的新情况。从亚洲地区训练出来的年青人，应该特别注意把兴趣放得广一些。

潘：对如何把兴趣放得更广这个问题，杨先生有没有更具体的建议？

杨教授：比如在一个研究气氛很浓厚的大学内，系里面通常有许多讨论会。研究生应该尽量去听，就是不完全听得懂也应该去听。中国传统教育出来的学生觉得听不懂东西就不要去乱搞。另一点是对当时自己兴趣范围以外的东西随时注意一下，可以阅读一些范围比较广的刊物如 Physics Today 或 Scientific American 等。今年5月、6月我在北京，科学院的科技研究生院做了一系

列演讲，全中国来了五六百个学生和教师。我跟他们说，这回演讲，当然一方面希望能介绍这些年来物理学的新发展，不过，也许更重要的一点是我希望使大家了解物理学是一个多方面的学科，是一个活的科学，不是一个死的科学，是一个新的学科，是一个跟实验非常接近的学科，而不是整天在公式内打滚的学科。我所以这样说，是因为中国有不少学生，确实被引导到一个死的物理学，旧的物理学以及跟实验完全没有关系的方向去了。

新港台的研究比较

潘：今年7月底你第一次去台湾访问，杨先生你是否愿意谈谈你对台湾的印象。

杨教授：今年去台湾主要是两件事，第一件事是庆祝我的老师，吴大猷先生80岁生日。第二件事是我第一次参加中央研究院院士会议。当然，也有一个想法，这就是我听说这些年来，台湾的经济搞得很好，我很想去看看。台湾还有故宫博物院的收藏，许多非常漂亮的风景。其实后面这些我并没有功夫去看，只在故宫博物院呆了2个钟头。我去的时间很短，多半时间是开中央研究院院士会议，所以对台湾的了解是很皮毛的。不过，我也看到一些市容，与以前看过台湾相片比起来，确实了解到台北的经济情况。台北公路周围农村的情形，这20年来非常进步。我也看了中央研究院，特别是物理研究所的建筑物，这些房子盖得很好，完全达到国际水平。我得到的印象是中央研究院这30年经费的增长速度很快。在经济情形继续好的前提下，在台湾当局愿意继续维持这个中央研究院经费的增长的前提下，我想台湾的尖端科学会增长相当快。中央研究院最近几年设立了好几个新的研究所，其中一个是分子、原子研究所，刚获得诺贝尔化学奖的李远哲教授在这方面大力帮忙，很可能他们会进步得很快。

新加坡经济的成功

潘：你是否能比较台湾、香港地区和新加坡在研究方面有哪些不一样的地方？

杨教授：我这次在台湾逗留的时间很短，不容易有很好的了解，不过我想香港、台湾因为都有相当多文史方面重要的人物，所以这两个地方，至少在文史方面的气氛会比新加坡强。这件事，虽然起始于文史，不过对于和实验有关系的学科或数学还是有影响的，因为这些地方的学术传统和社会的态度不一样。

潘：新加坡在哪些方面占据有利的条件？

杨教授：新加坡有很多有利的地方，新加坡的经济成长在建国以来是有目共睹的。比如新加坡在引进新的技术，发展新加坡的经济是非常成功的。举一个例子，如电讯设备是世界最好之一，新加坡另一个好处是国家小，而教育水平高，在不少经济发展方向抢先了一步。我们都知道，最近一二年来，新加坡经济发生了困难，我认为这是暂时的现象，会很快从这里面跳出来。因为地方小，虽然有一些坏处，同时也有很多好处，没有许多包袱拖累，这也是新加坡在这30年经济发展得那么快的因素之一。

潘：谢谢杨先生给了我们这么多宝贵的看法。

上穷碧落下微尘

——接受香港专栏作家张文达访谈(1987.1)

本文由香港专栏作家张文达撰写，原载香港《明报》，1987年3月11日至14日。“访问记后语”载1987年3月18日香港《明报》。

1987年1月间，台湾中央研究院院长吴大猷先生来港，主持香港中文大学“杨振宁阅览室”揭幕礼，我在刘永龄先生座上得谒吴、杨两先生，因与杨先生约，作一访问，承蒙首肯，深感荣幸。

我于物理学完全是外行，因请杨教授深入浅出地谈谈可能是当代许多人思考的问题。从宇宙之大到电子之微，人类正在探索无穷无尽的奥秘，我相信读者们一定能够从杨教授的精辟阐述中激起对这些科学问题的兴趣，扩大我们的精神领域。在寥阔苍茫的宇宙中，在肉眼不可测的粒子中，引发出我们对大千世界的想象力，当然也是一种乐趣。

我不辞浅陋，提出了十个问题，由杨教授逐题阐述。记录稿最后由杨教授亲自审定。

物理和哲学的关系

是否“一切现象都是物理现象”？

张：20年代末，海森堡(Heisenberg, W.)对魏泽克(C.F.Von

Weizsäcker)说："现在无论是谁，如果他没有相当丰富的当代物理学知识，是不能理解哲学的。你要是不愿成为最落后的人，就应该马上去学物理。"

杨教授，可否请你对此加以阐述？

杨：关于海森堡所讲的物理和哲学的关系，他讲的这句话我倒没有注意到，不过，他这个话是有根据的。因为，1925 年到 1927 年，量子力学的发现，对于人类的认识论，起了巨大的影响。

（注：关于这个问题，下面还要谈到。）

张：物理学家是否认为，从宇宙到人生，一切现象都是物理现象，如果是的话，有没有几条原则可以用来概括和解释这些现象？

杨：这个问题有一些争论。有一些物理学家觉得，虽然生物的现象里面，很多一部分完全基于物理定律的一些发展，可是他们认为，也因为量子力学的关系，意识是超过量子力学以外的一个现象。问题到现在还没有解决，两方面的说法都有人在做文章。

我个人认为，这可能是目前的物理学家还不能完全掌握的领域。不过，目前生物学家所研究的许多生物化学的现象还完全是在量子力学的范畴之内，是不是最后生物学家的研究会超越现在物理学家对量子力学的了解之外，这个问题我自己没有固定的意见。我觉得可能是有，也可能是没有。

宇宙如何解释？会长期讨论下去。

宇宙有没有边？还没有定论。

张：宇宙，究竟如何解释？时间和空间的观念是怎样形成的？是否由于宇宙是无限的，而人类的思想是有限的，因此永远无法解开宇宙之谜？

杨：关于宇宙，关于时间和空间，关于有限和无限这些问题，是物理学从牛顿开始就已经再三讨论的问题。时间是什么，空间是什么，这都是物理学里开宗明义的非常重要的问题。对这个问题，20世纪也有重要的发展。比如说，我们平常知道空间是三度，但是不是时间和空间一开始就是一度加三度，还是像现在有一些理论所讲的，开始的时候是十度或十一度，通过一个不十分清楚的机构，把它从十度或十一度降低到四度。这一类的文章现在多得很，还没有定论。换句话说，时间和空间这个观念到底是怎样形成的，实际上是怎么形成的，这是个大问题，我觉得对这个问题的讨论恐怕是会长期继续下去。

张：那么，宇宙到底有没有边呢？

杨：宇宙有没有边，这也是一个没有解决的问题。也许你知道，1916年爱因斯坦的广义相对论引起了所谓宇宙论。广义相对论是讲时空的结构，引导出一些方程式，这些方程式的解，可以是有限的宇宙，也可以是无限的宇宙，所以就产生了宇宙论。爱因斯坦的宇宙论是非常之宏观的，可是这些方程式只告诉你可能有这些解，并没有告诉你，实质的解是哪一个。

关于这个问题，是一门学问，从1916年开始，很多人研究，现在研究的人更多了。近20年来，天文学有很大进展，通过这些进展，再回到过去研究爱因斯坦的宇宙论，这方面现在是一个非常活跃的领域。不过，宇宙是有限的还是无限的这个问题，还没有得到定论。

科学和宗教的问题

永远不能有最后的回答。

假如不是有一个最终的目的，不会造得这么美妙。

张：为什么西方许多自然科学家都相信宗教？信仰宗教，也

就是相信有造物主的存在。杨教授，你相信在不可知的宇宙中，有造物主在创造一切吗？

杨：关于科学和宗教的问题，是一个很重要的问题。一个科学家做研究工作的时候，当他发现到，有一些非常之奇妙的自然界的现象，当他发现到，有许多可以说是不可思议的美丽的自然结构，我想，应该描述的方法是，他会有一个触及灵魂的震动。因为，当他认识到，自然的结构有这么多的不可思议的奥妙，这个时候的感觉，我想是和最真诚的宗教信仰很接近的。所以你问：相信不相信在不可知的宇宙中有造物主在创造一切吗？这个话，我想我很难正面回答是或者不是，我只能说，当我们越来越多地了解自然界一些美妙的不可思议的结构后，不管我们是正面问这个问题还是不正面问这个问题，都确实有你所问的这个问题存在。是不是有人或者是有神在那里主持着？我想，这也是一个永远不能有最后回答的问题。

张：是不是因为人的知识太有限的关系？

杨：一方面是这个原因。另一方面，我们会有一个感觉，假如不是有一个最终的目的，不会造得这么美妙！

张：一点都不错！

“规范场”的观念

物理学家所追求的是物质的结构。

张：现代物理学家如普朗克、爱因斯坦、居里夫妇、卢瑟福和玻尔，他们的研究成果根本改变了对世界的观念。杨教授，你对“规范场”的研究工作极端重视，可否请你用比较浅显的语言解释一下这个问题？

杨：关于规范场的问题，我想用这样简单的话来描述也许是比较恰当的，就是物理学家所追求的是物质的结构，先是普通所

看见的物质，一块木头、一块铁、一块塑料，把这些东西仔细分析以后，就发现我们所看到的物质都是分子和原子造成，把分子和原子打破，发现里面有电子、原子核，把原子核打破，里面有质子有中子，以此类推。所以，基本物理学就是研究最后这些最小最小的结构自己是怎样构成的，以及它们怎样合起来构成分子原子和一切物质。

归纳起来，这个问题有两部分，一部分是，最小的结构原料是什么？还有一部分是，这些东西是怎么粘在一起的？用我们的术语是说：什么力量把它们凝结在一起？这两方面，最后的粒子是什么？基本力量是什么？这就是基本物理学研究的主要内容。

关于力量这个问题，规范场的理论起了关键性的影响，现在已经被普遍地认识到，所有物理现象中的基本力量，有四种，而这四种力量的结构都是规范场。

张：换句话说，是不是在现代物理学的大厦里面，规范场的观念是一个极重要的基石？

杨：是的。比如说，爱因斯坦的广义相对论是1916年发表的，现在了解到广义相对论是一种规范场。另外还有别的三种力量也都是规范场。一个是电磁力，一个是强力，就是核力（核能发电就是利用此核力的），还有第四个叫作弱力，弱力表现于放射性元素，^{60}钴的衰变就是弱力。

一共有四种力量：引力（就是爱因斯坦的广义相对论）；电磁力；强力；弱力。这四种力量，现在发现，都是不同形式的规范场。

规范场的观念成为20世纪所发现的，基本物理学的结构的一个重要理论。

规范场能应用到生物化学、医学吗？

张：是不是可以应用到很多方面去，如生物化学，如医学，是

不是？

杨：这里有两种应用。一种是因为电磁学自己是个规范场，在生物化学里用到电磁的力量，所以规范场用到了生物化学。不过，现在规范场的应用已经超出这个，因为发现到，自然界有许多别的现象，可以用规范场的观念来讨论。这个道理，我简略地谈一谈，至少我来尝试一下。

规范场的观念，与一个叫作"相位"的观念有密切关系。"相位"是什么意思呢？英文叫作"phase"，是近代物理学中一个非常重要的观念，应用非常广。我先解释"相位"是什么意思。一个钟的面，上边的短针在那里转来转去，转到一点钟、二点钟、三点钟，这就是相位的概念。一个钟，我们平常说一点、二点、三点，也可以说30度、60度、90度，六点钟是180度，拿它变成一个圆圈的度数，这就是"相位"的概念。拿波来讲，如取波峰做零度，则波谷是180度，第二个波峰则是360度。从零度到180度之间，在峰谷之间半山的地方是90度，等等。

"全息照相"是个大发明

不管是无线电波还是光波，都是相位的信息。

这个观念在物理学里是一个基本的观念，在原理上和应用上都非常之广泛。也许你知道所谓"全息照相"，这是个大发明，是40年代一个匈牙利人Gabor发明的，他后来入了美国籍，十多年前过世了。他在1971年得到诺贝尔奖。全息照相和普通照相的分别是，全息照相的照片，用激光(laser)照了以后，看起来是立体的，非常逼真，跟普通照相不一样。

这个基本的道理也就是，普通照相是把光的颜色和强度记录下来，光是一个波(所有的光都是波，我们看不见它是波，但从物理分析，知道它是波)，全息照相不是记录光的强度和颜色，它是

记录波的相位，相位所含的信息，远比光的颜色和强度来得多。全息照相的意思就是全部的消息、全部的信息。也就是，全息照相放在底片上的信息是完整的。普通照相只记录它的一部分。像这类例子很多，比如说激光，就是掌握住了电磁波。不管是无线电波，还是光波，都是相位的信息。所以20世纪对于相位的观念在物理学里的重要性的认识，与日俱增。规范场就是把相位这个观念的重要性提到最高，等于是问这样的问题：为什么有电磁波？为什么有引力？为什么有强力？为什么有弱力？这些，都是因为相位的对称的观念而来的。把这个精神抓住了，通过数学的讨论，最后就发展出来规范场。这个观念，我想在下一世纪还是物理学里的一个中心观念。

全新的思维方式

太空时代的人类思维方式

张：最近，美苏科学家在一起研究太空时代的人类思维方式。20年代初，德国物理学家帕斯库尔·约尔丹就说："我们在探索大自然秘密方面已经进入了崭新的而且是极隐蔽的领域。很显然，为了解决矛盾，除了有以前的物理学概念以外，还得有全新的思维方式。"

杨教授，可否请你阐述一下这个问题？全新的思维方式，太空时代的人类思维方式，是什么样的方式？

杨：约尔丹所讲的这个话，我从来不晓得，假如他是在20年代初讲的，那是完全可以理解的。因为，20年代初，量子力学还没有被发现，物理学家通过实验的结果，发现了许多非常准确的规律，比如说，光谱学有很准确的规律，可是这些规律跟牛顿和麦克斯韦的理论是不符合的，不是完完全全的符合，是看起来有点像，可是演算出来以后，跟实际的结果不符合，所以，那时候产生

了极大的困难。

约尔丹，就是在这方面做工作的，他所指的矛盾，就是牛顿和麦克斯韦的理论所引导出来的一些结果，跟实验的结果很像，可是不完全对。那时候，大家都了解要有一个新的整个的物理学结构，这个结构后来是通过量子力学的发展找到的。

是不是我们现在的结构也需要一个新的大的改革呢？我个人认为是的。因为我们现在掌握了量子力学，发现了一个新方向，叫作量子场论。这是1928年以后一直到现在还继续在研究的，也可以说是量子力学和麦克斯韦方程式连在一起所必然发展的。

张：爱因斯坦晚年研究的统一场论，是不是这个东西？

杨：是跟这个有关系，但不是一个东西。场论是一个非常广泛的理论，我刚才讲的是麦克斯韦方程式跟量子力学结合起来，爱因斯坦的场论是另外一个结合。有极密切的关系，可是不完全是一个东西。

今天，量子力学、场论以及规范场的结构，这些都极为重要，都是今天物理学的基石，可是这些基石虽然解释了许许多多现象，而且是非常美妙的现象，可是里头有缺点，这些缺点从20年代就开始讨论。比如，讨论扩散现象，是最近10年才比较认识得多的一些现象，我们才了解，以前的认识是不够的。我相信，这些现象要解决的话，需要新的思维方法，就跟你刚才说的约尔丹所讲的一样。

这个新的思维方法是从什么方向来，现在没有人敢讲，就如量子力学的思维方法和量子力学以前的思维方法有最重要最基本的不同一样。不同之处是，量子力学中用了所谓“不可交易的代数”，“不可交换的代数”。英文叫作Noncommutative，中文叫什么我不知道。平常的代数，A乘B等于B乘A，但在量子力学

中,A 乘 B 不等于 B 乘 A,这就是不可交换的代数。乘法不可交换,加法还可以,A 加 B 等于 B 加 A,可是乘法不可交换。这个“不可交换”,在 1925 年以前是不可思议的;我是说物理学家觉得不可思议;数学家则已在讨论。1925 年以后发现,用这种代数代替那种代数,就可以得出量子力学。量子力学就解决了这些问题,所以可以说这就是新的思维方法。

那么,要通过怎么样的改变,使我们今天所不能解决的一些问题能够解决呢?我不知道要向哪一个方向作新的尝试。当然这也是现在研究基本物理的人都在想的问题。

为何 20 世纪 30 年代以来,政治侵入了科学的领域?

张:从 17 世纪以后,欧洲各种科学学会就规定,在它们的会议上不允许进行关于政治、道德和神学问题的辩论。但是,本世纪 30 年代以来,政治就侵入了科学的领域。时至今日,没有政府的支持,重大的科学研究项目就无从开展,这是一个不可避免的情况。

杨教授,你对这种发展情况如何看法?

杨:的确,这是 20 世纪,尤其是第二次世界大战以后发生的一个非常重要的情况,就是政府和社会对科学研究与日俱增的注意和支持。这个发展我想以后还会继续下去。

有两个原因。一个原因是,20 世纪下半叶,科技的发展对于人类社会的结构起了与日俱增的重要性,今天我们所看见的一切的一切,都和科技知识有密切的关系,而这些发展解放了人类的生产力,所以今天人类做的是 19 世纪人类不能想象的事情。

通过了生产力的解放,又带来一些新的问题,比如污染的问题,核战争可能发生的问题。这许多问题的发生,又需要更多的科技知识来帮助解决。这样一个循环的发展,使得科技在社会上

的重要性在21世纪必然更增加。

丁肇中在做的实验，他的设备就要花1亿美元

另外一方面，也会引导同样的结果，就是科技的发展使它本身变成了一个庞大的需要经济支持的机构。

30年前一个物理学的实验，所需要的经费是一两万美元，充其量，10万美元做一个实验，是非常巨大了。今天，比如丁肇中在做的实验，他的设备就要花1亿美元。1亿美元不是随便一个机构拿得出来的，所以必须要有政府的支持。所以，科技的研究需要社会、需要政府的支持这件事情越来越明显，而且我相信会继续发展下去。

这个发展，对于科技工作人员当然有很大的影响。在30年代，科学家虽然也要去找研究的经费，但只要一个比较有钱的人同意捐一点钱，立刻所有的问题都解决了。今天，像丁肇中，他必须是一个外交家，到世界各地去跟许多政府人士和科学家谈。这样一个现象，不可避免引起科学界自己的结构也有了一些改变，有许多科学家的工作不是在做科学的工作，而是去做社会关系的工作，甚至公关这个问题也发生了。

目前美国讨论的大加速器(SSC)假如建造，要花五六十亿美元

张：杨教授，你是研究理论物理的，这方面你大概不要做外交家了。

杨：对，我不需要做一些像跨国机构的工作，整天讨论要经费的问题。当然，理论物理和实验物理是很密切结合在一起的，所以，理论物理学也不可避免地和实验物理学所讨论的大加速器要发生一些关系。比如，美国目前在讨论的一个大加速器叫SSC

(超导超高能对撞加速器)。假如建造的话，要花50亿到60亿美元。这个加速器的直径恐怕有10多英里。像这一类东西的讨论：要造多大的SSC？要在上面做些什么实验？放在什么地方？要找哪些人出钱支持？这不可避免是我们这一行大家都关心都要讨论的问题。当然，对做实验的人来说更是他们切身的问题。

美国三大实验室，所长都是实验物理学家

在共产主义国家，由搞理论的人作最后的领导

这方面，我也可以谈一谈一个社会现象。

建造这种大加速器当然是一个庞大的结构，这个结构通常都要在一个实验中心来做。美国有三个大实验室，但如果建造这个大加速器，恐怕不是在这三大实验室进行，得另外找一个，因为面积太大了。这个加速器将来是造在地下的，它的电力20万万万伏特。由一个20万万万伏特跟另一个20万万万伏特对撞。

放在地面上有很多困难，所以要放在地底下。

我刚才讲美国三大实验室，所长都是实验物理学家，而且他们的前任也都是实验物理学家，这和苏联截然不同，苏联有两三个和美国类似的大实验室，它们的所长都是理论物理学家。

张：这是什么原因呢？

杨：这是社会结构的原因，社会观念的问题，是由于体制根本不一样产生出来的结果。

在共产主义国家，由搞理论的人作最后的领导，例如，苏联以前的政治局里，主要的理论家在那里的影响非常之大。

张：苏斯洛夫(M. A. Suslov)。

杨：对，苏斯洛夫。在美国就不一样，美国是一个实业家的国家，他们保持19世纪向西部开发的精神。向西部开发的人不是理论家，是实际卷起袖子来坐着马车到西部去干的人。这个精

神，在美国社会里，在20世纪的头50年，影响深远，渐渐地现在有一些改变，不过，从前的影响还在那里。由于这些影响，美国对于实际干的人比较信赖，认为这些人才是社会的中坚分子，所以美国大的实验室的所长，清一色都是实验物理学家。

关于这个问题，我想你可以写一篇很好的文章。

张：请问SSC的实际作用是什么？

杨：我刚才讲，我们要做的一件事情是了解物质的最后结构，越搞越小，先是分子，后来是原子、原子核，原子核里面是中子、质子，到现在是介子这一类。

越搞越小以后，根据海森堡"不可测原理"，距离越小，动能就越大，所以就需要大的力量去撞击，才能把里面的东西分裂出来。越要知道小的东西，越要用大的力量，所以要高能，现在要超高能。我做研究生的时候，帮忙制造了一个小加速器，那个加速器是几十万伏特，现在到了20万万万伏特，越搞越大，就是要看更小的东西。可以说是显微镜的倍数越来越增加，能量也就要越来越增加。

通过更高的能量，希望把更小的结构分析出来。

核战争的前景：悲观和乐观

"战术核武器可以使用"是一个危险的观念。

张：杨教授，您认为核战争的前景如何？可以避免，还是不可避免？西方有一种论点，战术核武器可以使用，战略核武器不可使用。您对这一论点同意吗？

杨：关于核战争可以避免，还是不可避免，这当然是极为重要的问题，我不知道怎么回答，这是一个没有法子回答的问题。

一方面可以对这个问题采取极端悲观的看法，认为氢弹力量奇大，而美国和苏联拥有氢弹的数目多得不得了。有这么多的武

器,有人认为,在历史上,凡是新发明的武器最后一定应用。因此,核战争不可避免。

不过,我想也可以有一个乐观的看法。第二次世界大战结束到今天,已经41年了,这41年中,种种冲突,甚至严重的冲突都有,可是核战争始终没有发生过,原因是各国领导人了解到,核战争引起的悲剧不单是对敌人,而且对他们自己的国家也将造成极大的创伤,所以,拥有核武器的国家对此都很审慎。41年没有发生核战争,就是一个证明。

这一想法不是完全没有道理。所以,我觉得这个问题,两方面(悲观和乐观)都可以讲。

张:如果有一个疯子,如果第二次大战时希特勒先发明氢弹,我想他一定会扔的。

杨:我觉得,今天即使是希特勒再世,他也不一定会用氢弹。我想没有一个人会轻易地把他自己毁灭掉。

当然,大的战争一旦爆发,问题就很严重。假如希特勒当初有了核弹,那我想他一定会扔。一个原因是,那时的核弹的威力还没有现在氢弹那么厉害;第二,那时核弹也没有现在这么多;希特勒不会想到扔几个核弹会把自己毁灭掉。今天的情况已经完全不一样。

我想,继续讨论这件事情,使各国最高领袖深深了解到核战争的危险,是必要的。

至于"战术核武器可以使用,战略核武器不可以使用"这一论点,我想,"战略核武器不可以使用",是没有人争论的,"战术核武器可以使用",这个观念我觉得是很危险的。

张:第二次世界大战后,有三四次,美国提出过,要使用战术核武器。

杨:不过每一次都并没有用。

张：对。

杨：战术核武器用了以后，太容易逐渐扩大，所以"战术核武器可以使用"是一个危险的观念，假如重要的国家领导人有这个观念，我认为是危险的。

张：我希望把杨教授这个话传播到全世界去。

地球会不会毁灭？

别的星球有可能存在生物吗？

张：地球是否有一天会毁灭？

杨：关于这个问题，我不知道现在天文学家的看法是什么。不过，我知道，有的太阳系和别的类似太阳系的系统曾因碰撞而被毁灭掉。而且，太阳由于它自己的演变也会导致太阳系的剧变。因为所有的恒星都有生灭的现象，等到太阳没有"热"的时候，所有太阳系的结构，当然会受到不可避免的影响。

所以你问"地球是否有一天会毁灭？"要看你所说的"一天"是什么意思。假如你讲的是几十亿年以后的话，那就很可能有这么一天。

对这个问题，我不是专家。

张：除了地球外，别的星球有可能存在生物吗？

杨：这个问题，我也不是专家。不过，我了解，越来越多的天文学家认为，非常可能别的太阳系里有行星，而且一些行星上面有生物。当然，不一定和地球上的生物完全一样，但可以说，一些基本原理是一样的。生物的存在不是偶然而又偶然，不是只有在地球上才存在，在别的星球上也可能存在。

与外太空交往的讨论，很有趣味

这是一个很有意思的问题。别的星球上的生物是否有智慧？

假如有智慧，是不是有比我们地球上远远先进的文化？假如有先进的文化，是不是有到外太空旅行的现象？他们是不是可以和我们发生交往？

这些，都有很多人在讨论，在听是不是有电波存在？但到现在为止，还没有结果。

有人用很大的天线去听外界的声音，并在讨论，假如是有一个有文化的集体，他们要想跟我们发生联系，那么，它这个信息是怎么传过来的？

这个问题大家都相信，如果传过来，是用无线电波。但，用哪个波？

大家在讨论，有人认为最好是用氢气发出来的，因为氢气是最简单的元素。在任何太阳系中都如此。我们要想和别人交往，最好用大家都知道是最简单的电波。其次问题是，用什么语言？

很多人在这方面进行研究。

他们的想法是，第一步，要制造出一种波，发出一个信息，使对方知道这是最简单的有智慧的通讯，收到后立刻就知道，这个信息不是偶然，是有所为而来的，他就会注意。

有人说，先要广播出“质数”最好。“质数”，中国有时译成“素数”，质数就是2，3，5，7，11，13，……，这些数目不能被一个更小的数目除得尽。比如6，被2除尽，被3除尽，所以6不是一个“质数”。4也不是个“质数”，因为4被2除尽。2，3，5，7都是质数。华罗庚先生一生最主要的一项工作就是对“质数”的研究。任何一个古的文化都对“质数”发生兴趣。所以有人主张，你先放两个声音，哔，哔，再放三个声音，哔，哔，哔，知道是3，然后放哔，哔，哔，哔，哔，是5，这样，连放100个质数，然后停一会儿，再放100个，再放100个，这样对方一听，就知道这不是一个普通的广播，而是有智慧的文化发出来的。

这样，你广播了一些时候以后再改放别的信息，譬如用某种方法引导对方了解你要教他某种密码。关于这一类的讨论很多。

用什么方法告诉别的行星上的生物，我们这个地球上有两种人，一种是男人，一种是女人，怎么把信息传过去，传过去的信息，对方如何把它变成一个图像，这些都不是容易的事。

张：很有趣味的事。

杨：很有趣味。

奥本海默的悲剧及其原因

张：非常感谢，杨教授，耽搁了您那么多时间，但是讨论了这么有趣的问题。杨教授，您跟奥本海默当然很熟……

杨：我是 1949 年到普林斯顿高等学术研究所，他是那时的所长。

张：二次大战后，奥本海默的遭遇似乎是一个悲剧。

杨：可以这样说。二次大战后，他在美国科学界和社会上地位极高。1945 年以前，美国社会上没有人知道奥本海默，可是，原子弹一爆炸，他立刻成了家喻户晓的人物。他很会讲话，博闻强记，他到美国国会作证的时候，《时代》杂志报道，那些参议员听得都入了迷，好像是小学生听了一堂非常深奥的课，希望奥本海默再多讲一点。

可是到了 1954 年，艾森豪威尔（D. D. Eisenhower）做总统的时候，发生了奥本海默事件，最后决定停止奥本海默看任何秘密文件的权利，一举就把他在美国政府里的一切影响给取消掉了。那时候我跟他已经很熟识。（从 1949 到 1966 年我在普林斯顿高等学术研究所任研究员，奥本海默在 1966 年退休。）

奥本海默在美国学术界的声望还是很高，美国学术界绝大多数人都认为美国政府的举动是一个严重的错误。对奥本海默，绝

大多数人都非常同情。1954 年以后，奥本海默继续任普林斯顿研究所所长，一直到 1966 年。

1967 年 2 月，奥本海默因癌症去世。

张：奥本海默之所以被停止看保密资料的权利，主要原因是不是因为他反对制造氢弹？

杨：这个问题很复杂。美国政府一个委员会作出一个决定，取消他看秘密文件的权利，上面所写的原因有好几项，其中一项就是你刚才所讲的。

张：还有他的交往不大审慎，交往的有好多不大靠得住的人。

杨：对啦，这都是那个决定上写了的。

张：我看过那个决定的全文。

杨：科学家普遍认为，这件事情的真正原因并不是那个委员会所讲的，而是因为奥本海默得罪了很多人，树了许多仇敌，而且有非常重要的人变成了他的敌人。很多人相信，这才是根本的原因。

张：那就是人际关系不好。

杨：对。我想，假如他的人际关系非常之好，就绝对不会发生这个问题。可是他的有些人际关系非常不好，而他在 30 年代又和许多共产党员有过交往的事情……。

张：他的女朋友就是一个思想相当左的人，后来自杀了。

杨：他的太太，假如不是共产党员的话，也是和共产党关系非常深的。假如这些事情都没有，我想他也不会发生问题，好些事情都连在一起了。

张：杨教授，非常感谢你在百忙中接受我的访问。

张文达注：

在这篇访问记中，我之所以最后向杨振宁教授提出原子弹之父——奥本海默博士的问题，是因为这是当年的一件大事，审理奥本海默事件委员会最后作出的结论，给我以极深的印象。

委员会写道："在总结时，我们竭力全面地考虑全部问题，而不是孤立地考查奥本海默博士某段生活中的问题或单独审查他的忠诚、性格和交往等方面的问题。

但委员会在全部审查之后所作出的重要结论，是有关奥本海默博士对自己祖国不忠诚的问题。我们特别重视这一问题，而所得出的结论可以使我国人民得以安心——奥本海默是一个忠诚的公民。但若全部问题已止于此，我们就可以恢复奥本海默接触机密的权利。

然而我们的结论是：恢复他接触机密的权利不符合美国的利益，所以我们不作这样的建议。

我们根据下列理由作出我们的决定：

1.奥本海默博士的行为和交往是严重忽视保安制度要求的表现；

2.我们认为上述这点是他的致命弱点，这种情绪可能损害国家安全的利益；

3.奥本海默博士对待氢弹问题的行为，是十分令人怀疑的，故不应批准他今后参与国防有关的政府计划；

4.我们遗憾地指出，在个别场合下，奥本海默博士对本委员会不够坦白。"

"历史中的人物不能像戏剧和小说中的主人公那样，幕落了或读完了最后一章就消失了。他们往往要经受自己悲剧的结局。"这大概就是许多人关心奥本海默事件的原因。

访问记后语

为什么作此内容的访问

题为《上穷碧落下微尘》的杨振宁教授访问记一文已在本报特稿版刊出，我想谈一谈为什么我要作此一内容的访问。

起因是我读了丁肇中教授写的《杨振宁小传》中的一段话：

“1949年他应奥本海默邀请，在普林斯顿高等学术研究所做研究工作，不久升为教授。在1954年他与米尔斯发表的规范场理论，是一个划时代的创作，不但成为今日粒子理论的基石，并且在相对论上及纯数学上也有重大的意义。”

1956年杨振宁教授和李政道教授指出宇称不守恒，次年，他们两位共同获得科学界最高荣誉的诺贝尔奖，而1954年杨振宁教授和米尔斯一同发表的规范场理论，其重要性殊不下于对宇称守恒的研究。

据刘永龄先生告诉我，上引丁肇中教授写的一段对杨振宁教授的评价并不仅是丁教授的个人看法，而是几位科学家共同商定的，此一评价的份量，即使是我辈不懂物理学的人也能感觉到。

19世纪和20世纪之交，普朗克、爱因斯坦、居里夫妇、卢瑟福和玻尔的研究工作开始了一场科学革命，根本改变了对世界的概念，动摇了几千年关于自然界不可能发生突变的信念，旧的物理学大厦被摧毁了，量子理论产生了，科学家们在探索自然界的奥秘方面发现了新而隐蔽的领域。杨振宁教授在前辈大师的汲引下，以严谨的治学态度和刻苦的努力，终于对新的物理学大厦作出了重要的贡献，他的规范场的观念成为这座大厦的重要基石。

我的物理学知识停留在40多年前读高中时的水平，那时我们的物理老师讲述了卢瑟福在剑桥卡文迪什实验室对人工放射

所作的研究，开原子研究的先河，给我以深刻的印象。1945 年，第一颗原子弹爆炸，人类进入了核时代，一个空前未有的恐怖时代，引发起许多人对宇宙、人生、社会、政治、战争等多方面的思考，这是更深更广的“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”。

访问杨振宁教授，提出 10 个问题，就是为了求索。

其中关于宗教问题和核战争是否会爆发问题，特别是前一个问题是我多年来一直在思索的谜，杨振宁教授的阐述生动、机智而富于文采，我相信读过这篇访问记的人必能从中得到启发，进一步思考这个问题。

顺便提一点，我的 10 个问题并未事先送呈杨振宁教授，而是访问时提出的，他侃侃而谈，若行云流水，此乃“充实之谓美”也。

经济发展、学术研究和文化传统

——答《新加坡新闻》记者问(1987年1月)

本文原载《新加坡新闻》1987年2月2日,刘培芳报道。原编者按从略。

问:杨教授,最近的中国学生运动是先从你的家乡安徽合肥爆发的,过后蔓延到全国各地,请问你对这次的学潮有何看法?它对中国的知识分子及今后的学术研究会有什么影响?

答:在这次学潮中,合肥科技大学的正副校长管惟炎和方励之被免职,管惟炎返回原来的工作单位——物理所所长,方励之被调回北京天文台工作。所以,两人的研究工作仍然可以继续。对这事件,国内外很多人都不免想到会不会是重蹈1957年反右运动的覆辙,我想不会。中国领导人已再三声明,这是一项特殊事件,并非要整肃知识分子。大家应该相信中国领导人的这些话,目前也没有迹象显示中国会朝向1957年那样的情况发展。

问:近十几年来,你每年都回中国访问,是中美学术交流的重要桥梁。过去几年来,你和香港的大学也有密切的联系,你可否对大陆、香港、新加坡三地的学术研究风气作一个比较?

答:中国大陆有许多重点大学,例如北京大学、清华大学、复旦大学、南京大学、南开大学、中山大学,这都是研究风气很浓的大学。好教师、好学生及可造就的未来人才相当多。这些学校的

毕业生和研究生，后来到西方的大学深造，都有很优异的表现。

至于新加坡，我到过国大访问多次，我发现这里有很多年轻人非常聪明，是可造之才，但可惜的是，这里的学术研究兴趣，没有得到社会应有的鼓励，所以学术研究风气没法生根。

香港的很多地方和新加坡很相像，但也有不同的地方。我觉得香港的学术研究风气是介于中国大陆和新加坡之间。1949 年中共执政后，很多知名学者从中国大陆出来，他们大都跑到香港去，很少到新加坡来。例如钱穆这位中国文史大师，他到香港，吸引了许多年轻人围绕着他，他在极端困难的情况下创立了新亚书院。新亚书院的创立，使香港的知识分子对读书风气及学术研究增加了一些认识和注意。

新加坡过去 30 年来，经济急速成长，这是一个小地方，开始时没有余力对学术研究风气加以注意，是可以理解的。但现在的经济情况不一样，你们的国民平均收入已达到发达国家的水平。在现在的条件下，对学术研究风气多加注意是必要的，也是具有深远影响的事。这点是我愿意提出来和新加坡的政府、学校以及社会人士一同探讨的。

我已经和国大校长林彬教授谈过，应加强学术研究的注意和宣传，使更多年轻人对学术研究发生兴趣。

问：我国已决定朝高科技工业进军，请问我们在朝这个目标发展的过程中，应注意什么事项？

答：首先，当局要对国大及南洋理工学院的既有情形多些了解，对年轻学生的入学情况多些了解，才能制定正确的措施。除了设立一些与高科技发展有关的研究所——例如研究电脑的系统科学院和研究生物工程的分子与细胞生物学院之外，我觉得也应对那些纯学术的机构加以重视。这包括文史、纯数学、理论物理学等。这些研究所是不需要仪器的，设立起来所花的钱也较

少。在这方面，香港大学和中文大学学生的学术风气就比国大好，这主要是因为有钱穆这一类的文史大师，给香港社会带来风气。他创立的新亚书院造就了不少有才华、有志气和有能力的人，这是新加坡所缺乏的，这可能和新加坡一向比较注重实用科目有关。由于新加坡的经济成长率高，年轻人觉得读实用的科目能直接参与国家的经济成长，对个人和社会都有好处。国大的会计系学生多得不得了，便足以说明。

学术研究风气不盛和教育制度无关。主要是和政府的政策是否和大学的长期计划配合有关。新加坡现在也开始对学术风气的培养有较多的鼓励。要知道，你们是往知识密集的工业发展，而知识密集工业的起源，正是因为人类对各方面的知识达到相当高的水平。所以你们应该鼓励新加坡的年轻人往这方向走，而不都是只做会计师、律师，或工商管理专家。这是你们目前发展过程中值得非常注意的事。

问：你这次在陈嘉庚基金会邀请下前来讲学，并主持第一届陈嘉庚青少年发明奖的颁奖仪式，请你谈谈你对设立这个发明奖的看法。

答：我很高兴陈嘉庚基金会所采取的办法，即一年颁发给中学的青少年发明家，另一年公开发给社会人士，这一组的年龄限制目前是27岁，今后可能会提高到30岁。这一届颁发的发明奖就是属于这一组。

新加坡朝高科技发展需要年轻人的动力。任何发明需要两项要素，第一是知识创造的能力，第二是企业精神。这个发明奖，可以对那些会动手，精于做实验和有创见的人起鼓励作用。这对一个像新加坡这样急速发展的国家尤其重要。世界上帮助社会和教育发展的慈善事业很多，但不是每一项慈善事业在经历长时间之后仍然具有同样的重要性。但陈嘉庚青少年发明奖仍能产

生深远和重要的影响。

问：你这次来新访问，短短一星期，行色匆匆，把高龄 91 岁的母亲也带来了。你对母亲的深厚感情流露无遗，请你谈谈你和母亲的关系，她对你的一生有什么影响？

答：我母亲在一年半前，从上海移居到香港。虽然她已 91 岁，但精神还很好。由于她从来没有到过热带，所以这次我带她来新加坡走走。她很喜欢这里，说整个城市就像个大公园一样。我在 1922 年出生于安徽合肥，在 10 个月大的时候，父亲就到美国求学，前后共 5 年。所以，在我出生到 6 岁这段时间，就只有母亲和我两人相依为命，关系非常密切。

我母亲没有受过新式教育，旧式教育也受得很少。她的中文阅读能力是自学而来的。我头六年对中文字的认识也是母亲教的。她虽然没有真正受过教育，但她的意志非常坚强，个性也比父亲强，家里的一切都是由她决定。抗战期间，我们一家人住在昆明，前后 10 年。父亲虽是一名大学教授，但收入不多，那时，最小的弟弟还在念初小，一家生活十分困难。父亲抗战前的积蓄，因为通货膨胀的关系，到了 40 年代，都荡然无存。家庭经济条件非常恶劣，全家就靠母亲一人支撑。母亲克勤克俭持家，给我们亲戚朋友留下深刻的印象。

1945 年春天，当我还在昆明的西南联大念书时，曾经为一群美国军官和士兵教中文。一个星期教 3 小时，每个月赚到 100 美金。这在当时是一笔很大的数目，对家里的经济很有帮助。

就在那一年，我到美国留学。1949 年，父母亲全家搬到上海住。30 多年来，母亲一直保持她一贯刻苦勤俭的作风，为一家大小操劳。她是到了 80 多岁以后，因为精力比较不够才休息下来，真是八十年如一日。

我本人的个性和作风，受到父母的影响都很大，也许可以说，

明显的影响(如学术知识)是来自父亲,而不明显的影响(如精神气质)是来自母亲。到现在我自己年纪大时,从我和子女的接触中,我才深深体会到,母亲对我的成长所给予的熏陶和影响。母亲的勤俭朴实作风给我很大的影响。到现在,我还在用着一辆用了 10 多年的老汽车。

我总觉得,中国旧社会里成长起来的妇女,往往比男人意志坚强。也许,这是因为旧社会对妇女施予太多的约束所造成。在今天的社会里,老太太们比丈夫意志坚强的例子比比皆是。我觉得这种社会现象是很值得研究的。这种特点的形成必定有其社会背景。

问:你所流露的孝道精神是得自东方的价值观念,长久在西方社会生活,是否会使这种观念有所改变?

答:孝顺美德是华人传统,是中国几千年文化孕育的道德观念。西方也有,但是和东方不一样。所有受中国儒家文化影响的国家,如日本和韩国,也有很浓的孝道精神。1983 年我们全家人在香港团聚,在一家饭馆吃饭时,看到每一桌几乎都是三代一同吃饭的,这种现象在美国很少见。

我个人的道德观念和作风,是受到东方传统的影响,因为我是在中国社会长大的,我觉得一个人在成长过程中所受的熏陶,对他一生的影响是至为深远的,而且也是不知不觉的。我在美国已住了 40 多年,对西方的做人方法也有了解并受到影响,但是我处世做人,仍旧是从我成长过程中所获得的价值观念出发。

东方的传统价值观,对一个在西方从事研究和行政工作的人是否有帮助呢?我觉得这因人而异。东方传统观念对每个人所产生的结果不一样。对我来说因为通过对另一个传统(即西方传统)的了解,使我对自己的传统又增加更深一层的认识。有了比较,才能使人对自己原来的优点有更多的认识。有些人在中西方

文化的冲击下而产生不谐调和冲突，我也许是比较幸运的，在这种冲击下，我一切还觉得很好。这大概和我学习科学的经验相像。中国人研究科学的价值观和西方人是不一样的，而我把两者最好的部分都拥有了，这是极占便宜的。

很多人说，现在新加坡年轻一辈越来越西化，渐渐缺乏东方传统美德。我觉得现在新加坡政府大力鼓励宣扬儒家思想，这是很好的，从长远来看必定会有影响，但这并非一两天能奏效。如果新加坡在中国文史哲学方面，能有国际大师常到新加坡访问和居住，再加上政府和社会的努力，对年轻人的想法将会有重要和深远的影响。

问：现在新加坡华族年轻一代所要求的已经不是中国文史哲学的东西。他们的家庭关系和生活习惯的确是保留华人的传统，不过，他们主要还是暴露在受西方影响的价值观念和社会关系中，在意识形态方面好象把握不住一种实在的东西，你认为这问题应如何解决？

答：这是不可避免的现象。由于整个经济结构改变，人民的意识形态也难免会改变，日本是个最好的例子。日本战后吸收了很多西方的观念、技术和体制，他们甚至把英文纳入自己的文字中。日本老一辈的人都说日本变得太快，这样发展下去，老一辈都会变成文盲。但是日本的风俗、习惯和传统文化仍然受到很好的保护和重视，这是令我佩服的。

在日本，虽然很多老一辈人叫苦连天，但在外人眼中看来，日本依然保留许多传统文化中好的部分，这包括工作态度和纪律精神。他们把传统的优点加上西方近代的生产方式和社会结构，两者结合的成果，证明相当成功。日本的经验值得新加坡学习。

新加坡是个迅速转变的社会，由于整个世界都在变，新加坡的经济结构也在改变，所以社会产生变迁是不可避免的。问题

是，如何吸收传统和现代两方面的精华，对过去优秀的文化传统加以发扬光大，这需要社会全体共同努力。年轻人是受家庭、学校和政府的影响的，年轻人应该有怎样的价值观念和怎样的发展趋向，不是他们单方面的事，而是整个国家都应注意的事。

关于东方传统与科技发展

——接受(新加坡)潘国驹访谈记录(1987年1月)

本文作者为新加坡国立大学物理系教授潘国驹。原载1987年2月22日新加坡《联合早报》,原标题为《访杨振宁谈陈嘉庚,东方传统及科技》。现标题为编者所加。

上个月杨振宁教授来新加坡主持陈嘉庚基金会青少年发明奖颁奖礼。我们有机会与杨先生在不少问题上作了深入的讨论。杨先生关心新加坡的前途,关心如何好好配合东、西文化等。在这篇报道内,杨先生对不少问题都有精辟、独特的见解,很值得我们深思。

陈嘉庚的教育事业与儒家思想

潘: 杨先生这次特地来新加坡为陈嘉庚基金会颁青少年发明奖,我们都觉得很荣幸。陈嘉庚的教育事业在东南亚、中国都有极深远的影响,我们希望你能谈谈你对陈嘉庚先生的教育事业有什么印象?

杨: 我觉得陈嘉庚是一位了不起的人物。他以身作则,很早就捐出巨款来办教育事业。这不只在东南亚,甚至在当时的中国社会也是一件极为重大的事。我自己在1928年到1929年曾经跟随父母亲在厦门大学住过一段时期,那时我年纪很小,我父亲

在厦门大学当数学教授。当时知道厦大是陈嘉庚一手创立的。我在他自传内，知道他创立厦门大学期间，本来以为可以通过他的奔走、出力，会影响南洋其他富商合力把厦门大学办起来。结果只有他一个人尽全力的把厦大办起来，这是非常不容易的事。我想他是一个在中国历史上具有传奇性，而且对社会有很大贡献的伟大人物。我对他的历史不完全清楚，不过我一直觉得应该把他的历史详细的写成一部书，这对后辈会有许多好处。

潘：毫无疑问的，陈嘉庚是一个传奇性人物，对社会、民族深具影响。从他当时的历史背景，杨先生你可否谈谈是什么因素造成他那种献身教育事业的思想。

杨：我想陈嘉庚身处当时中国的情况，加上他在东南亚殖民地社会内，深深地了解到19世纪，中国受到西方和日本的侵略，中国人受到西方人和日本人的欺凌所造成的民族创伤，对他思想起了很大的冲击。我想这造成他对教育事业的重视，深深觉得应该从教育来挽救民族、国家的灾难。另外一个重要的因素是中国传统对教育的重视。他身处当时的殖民地社会，希望中国能很快地复苏。我觉得这是他的爱国主义思想使然。所以他办小学，办中学，办大学，还有集美水产、专科学校。

潘：杨先生你是否能谈谈陈嘉庚的教育思想与中国传统，比如说儒家思想，有什么关系？

杨：在我的印象中，中国历史上捐这么多钱办学校的例子并不多见，而且像现在我们所谓的大学，在中国的历史很短，在陈嘉庚先生办厦门大学的时候，中国大学还很少，清华大学还不存在，只有清华学堂，北京大学也只有几年的历史，还没有完整的大学制度与设备。所以陈嘉庚创办大学可说是一个创举，因为当时还没有一间私人办的大学。我想办学校，注重教育，这种活动跟中国的传统是有密切的关系的，对于治国者来说，从中国的传统来

看，需要一批具有教养的学者来协助治国之事。

潘：目前新加坡的情况与陈嘉庚当时所处的情况不同，新加坡已经是一个独立的国家、独立的民族，而当时陈嘉庚所处的情况是殖民地社会或半殖民地社会，不过他那种民族主义和爱国思想与中国传统有何直接关系？

杨：是的。我想中国传统中所谓"先天下之忧而忧"的观念在西方传统是很少出现的，中国的知识分子觉得每一个人对社会都有责任，国家、社会很重要，个人绝不重要。而西方社会的基本精神则建立在个人的身上，社会是许多个体的连结，每个个体对社会都有所贡献。如果问究竟个人、社会那个比较重要，在中国传统下，当然社会是绝对重要，个人不重要，所以有先后之别。这是东方传统与西方传统很重要的不同处。所以中国的传统知识分子有先天下之忧而忧的观念。这跟西方是相当的不一样。西方传统是以个人为中心，从历史的观点来看，西方是受基督教的影响，基督教有个上帝。基督教对一个人的行为的最后判断是由他本人和他的上帝之间来解决，每个人有自己的上帝，你去教堂忏悔，是你跟你的上帝之间解决问题，而不是向社会交代。中国传统中所谓的"君"，其实是代表整个社会，在最后结算的时候，个人是不重要的，我想这个传统也是为什么西方民主不容易在中国发展的原因之一。以上所讲的，并不是好坏或是非的问题，而是东西方传统在观念上不一样的问题。

潘：陈嘉庚先生是当时海外华人唯一"倾家兴学"的伟人，留下了无数教育遗业。譬如在新加坡的华侨中学、道南学校等，在中国的厦门大学、集美专科学校等等。为了建立教育的经济基础，更进一步在香港创立集友银行，股份方面，集美学校占有百分之八九十，在金融界独树一帜，可惜在文化大革命期间，大幅度减少到百分之二十八。原有崇高的本质一降而为一般性的商业银

行。杨先生你可否谈谈如何保存及发展陈嘉庚先生这些宝贵的教育遗业?

杨:陈嘉庚先生确是华族大力捐助教育事业的创始人,他在东南亚、中国,尤其在南洋声誉和影响都非常巨大。我多次访问新马,发现华族社团对于发展和继承陈先生所创建的厦门大学和集美学校都极为关怀。对于这些事业,我觉得前途的发展要靠海外华族和中国的共同努力。在华族社会方面,要加强及协助与东方传统有关的教育事业;在中国方面,要加强对海外华族社团心愿的了解。譬如集友银行股份的问题,我觉得有必要澄清一些过去遗留下来的没有澄清的问题。

东方的传统思想

潘:杨先生你是否能简单的谈谈像新加坡社会,应该怎样配合东方的传统思想与西方的思想?

杨:我想中国的传统在发展得好的时候,是可以发展得很好。假如统治中国社会的人,是个非常明智的人,非常有能力的人,我想这对整个的社会是有好处的。而且在刚才讲的先决条件下,比较容易把社会发展起来。西方的传统是不一样的,个人任何时候都想发展个人的想法,任何时候都为自已的权力而奋斗,这两方面各有各的好处,如何互相配合是一个复杂的问题。

潘:新加坡在过去二十几年,在各方面,尤其是经济建设,发展得很快,但由于各种因素,例如外来的影响、教育等,年青一代受西方影响比较厉害,一个自然的结果是不少年青人着重个人利益,不太关心国家或社会的利益,杨先生请你谈谈这个问题。

杨:我听说李光耀总理对这事情很关注,这个问题非常重要,新加坡高速度的经济成长不可避免的会造成年青一代偏向西方的影响,问题的解决方法并不是简单的,目前新加坡政府希望

将儒家思想、儒家的传统灌输给年青人是一件有意义的政策，因为儒家思想有几千年的历史，应用到社会上是有必要的。当然，是不是足够就很难说，因为世界的历史，随时都在演变，今天的新加坡跟二三十年前的新加坡就大不相同，因此，所发生的新现象，要通过种种方面的努力，想方法解决问题，而没有一个简单的办法去解决的。

日本的经验

潘：记得在 1981 年，我们一起在日本访问了一个月，你觉得日本民族是一个了不起的民族，我们应该深入了解日本的民族特性以及她成功的经验，杨先生请你谈谈日本与西方以及中国传统有什么差异？

杨：大家都公认日本曾经受过中国文化传统很大的影响，不过日本，也有他们自己非常独特的发展，日本人的民族性与中国人的民族性是有所不同的。我刚才说，若将中国人和西方人互相比较的话，中国人是社会重于个人，而西方人却是个人重于社会。日本人有自己发展的方向，在有些地方比中国社会更注重个人，但在另一些地方却更注重集体，可以说日本深受武士道精神的影响。武士道最初是从中国传到日本，我的印象中，是宋朝传去日本，可是他们却把武士道精神大大的发展，发展了以后跟中国的原有传统是不一样的，武士道精神今天深深贯彻到日本的民族里，不是武士道者也吸收了武士道精神。武士道精神，我觉得是个人又是集体的观念，中国武士道精神却没有发展到日本的精神。在个人观念方面，武士道非常重视个人的荣耀，比如一个人如果做了一些事情把公司弄垮的话，他会觉得非常丢脸，很可能切腹自杀。在过去的封建中国，臣子对君王是很忠心的，可以达到以死来表示忠诚。而日本人却觉得自己的荣耀受损了，所以就

把切腹自杀来作为最后挽救自己荣誉的一个办法。这个我想正是三岛由纪夫的思想。我认为日本人的精神是照顾团体的利益，但同时又把个人的精神推到一个极端，这跟传统的中国方向不一样。在封建时代的中国，一个臣子，他的主要动机是通过他对君王的效忠，最高的目的并不是为了自己，而是为了他对君王的“忠”。日本人切腹自杀则为了自己的荣誉。所以日本人的发展方向，既不像中国人也不像西方人，而是往另外一个方向发展，好好的讨论日本文化是很有意义的。

潘：日本近几十年的经济发展，成就很大，杨先生你是否觉得这与日本人的民族性有关。

杨：我觉得日本经济的成功是有它的道理，是他们对每件事情都很认真。在1981年我在日本访问时，我发觉日本人的审美观非常讲究。日本的乡下，那些农民都能集中起来做一些非常合理的事情，譬如山上的树木，他们并不是毫无目的开伐，而是很有系统地将它们砍下来，再种植下去，使得你觉得他们对自然界的保护，是中国没有做的。在上海时，我碰见当时复旦大学校长苏步青教授，他的夫人是日本人，结婚五六十年，他是个日本通。我问他中国人与日本人最大的分别是什么，他说日本人很认真，认真到每一个普通商品都包装得很精致，这跟中国传统是非常不同的。我觉得日本人与美国传统也不一样，所以今天日本人制造出来的汽车，结构比较好，日本工人每装一根螺丝钉都很谨慎。美国工人的态度就不一样，他们的兴趣是每天工作八小时，有薪水拿就很高兴。日本人这种认真态度与武士道精神也有关系——不是因为别人看到才把工作做好，就是没有人看见我，我也要做得好。他们认为做好这件事情，本身就有价值，这种精神，比中国人和美国人来得彻底。

新加坡发展科技的方向

潘：新加坡目前在所谓高科技方面，比如电脑、生物工程有大量的投资，在这方面我们面临美国、日本以及欧洲的竞争。不容易做出真正国际一流水平的结果。杨先生你对这问题有何看法？比如说香港、台湾和新加坡，这些地区和国家人口又少，又没有庞大的资源，但我们在科技方面，却几乎把百分之八九十的人力，财力集中在高科技的研究上，你认为这样做是否健全或有讨论的余地？

杨：我想这个问题要从两方面来讨论，大家知道新加坡最近两年的经济发展情形并不是最好，我想目前的第一要点是要扭转这种局面，第二个问题是长远的发展，长远的发展对于基础的学科，当然应比较注重。不过我发觉新加坡从1960年开始到现在，经济有高速度的发展，因为地方小、人口少，经济发展还需要大量的投资，以便面对各方面竞争。瑞士人口大约500万，瑞典约800万而丹麦是400多万，这些国家发展得比较早，这些国家无论在应用方面、基础研究方面都有卓越的成就。不过一个国家的财力有两方面，一个是她在当时的经济状况，另一个是她过去所累积下来的财富。这两方面都很重要，因为如果累积下来的财富是多的话，需要用在许多实际用途上的费用就比较少，如果是过去所累积的财富比较少，那样，需要修造更多的地下铁、道路、海港、房子等等。这些都要耗费很多的费用，所以这两个因素都是很重要。新加坡是一个新兴国家，刚步入已发展国家的地位。时间还不够久，累积的财富还不够多，所以需要相当长久的时间，才应该发展“昂贵”的基础研究。另一方面，对那些花很少钱的理论科学、文史、哲学、数学和理论物理等是可以鼓励的，我觉得这方面新加坡做得不够。一方面我想是整个社会风气的关系，新加坡

社会如果出了一些重要的文史大师、哲学家、数学家，对于整个社会风气会有很大的好处，对新加坡年轻人一生的态度都会有很重要的影响，这是很重要的。过去高速度的经济成长使得新加坡人把物质的生活看得较重要，这也是一个必然的现象。

潘：如果新加坡有比较浓厚的研究气氛，对社会又有什么好处？

杨：我想会有好处的，因为真正做比较不花钱的研究工作对新加坡来讲，负担是不大的，而对有这方面才干的年轻人是会有价值的，我想新加坡 200 多万人里是会有不少这些年轻人。在任何文化传统里头，对于把一些有意义的人类学术活动弄到一个尖端去，这些是应该鼓励的。

潘：非常谢谢杨先生为我们提供那么多宝贵的意见。

高温超导与中国高科技

——与香港《明报月刊》记者欧阳斌谈话记录(1987)

本文作者为香港明报记者欧阳斌，原载香港《明报月刊》1987年7月号，原标题为《热爱中华的杨振宁教授》。现标题为编者所加。

香港中文大学博文讲座教授杨振宁于今年5月由美国前来香港，笔者趁机会约他面谈了一个小时，谈及他的研究动向、第二度获诺贝尔物理学奖的机会、以及对海峡两岸积极向他统战的感受。现将该次谈话摘要记述如下。

开拓新领域钻研高温超导

问：你去年在中文大学进行的两个学术专题——二次微分方程的推广、薛定谔和力学中虚数之重要——的进度如何？

杨：那两个学术专题均已完成，现正在印制阶段，稍后便可发表。

问：那你现在有哪些新的研究计划呢？

杨：我现正埋首研究高温超导[①]。

问：但你在"规范场论"(Gauge Theory)[②]的研究已取得重要成就，为什么不集中精力在这方面发展，以便再夺诺贝尔物理学奖？

杨：规范场论可说是我一生中最重要的研究，现在除物理学家外，数学家及广义相对论的研究人员也参与这方面的研究，估计人数达到几千人。也许可比喻为1919年中国的新文学运动，有人提倡用白话文之后，很多人在各个领域分头创作，蔚成风气。

我早在1954年已着手研究规范场论，到70年代还做了很多工作，且将之引进中国去。但在现阶段，一方面是规范场论的研究已遍地开花，而我看不到一个特别重要的方向；另一方面，又冒现了高温超导的新发现，两者相比，前者是抽象的理论结构，后者则是具体问题，加上我自己对新的东西比较喜欢，故此，目前主力研究高温超导。

至于诺贝尔奖的问题，诺贝尔奖是可遇不可求的，更不可强求；过去一段时间，我已曾因对规范场论的贡献，而不止一次获提名，将来因此而获奖是可能的。

问：除研究高温超导外，还有什么计划在进行中呢？

杨：我现正与中文大学的物理系教授陈耀华及杨纲凯筹办1988年6月在香港举行的亚洲太平洋地区物理学会第三次大会，这个会议每二年半举行一次，第一次于1983年在新加坡举行，第二次于1986年在印度举行。

届时，高温超导也会是一个重要的研讨环节，对这方面素有研究的朱经武教授及北京物理所研究员赵忠贤也会出席。

地位特殊可发挥桥梁作用

问：你的根是在中国的——大学期间跟西南联大的吴大猷教授（现在台湾）掌握了群论及对称性；研究院期间则跟北京大学的王竹溪教授掌握了统计物理——但中国迄今未能产生一个诺贝尔物理学奖得主，究竟原因何在？

杨：中美两地的教学方式各有特点，中国的基本功非常稳

妥，但接受新的东西的态度不够开放，加上另外两项限制，使中国难结出学术硕果。该两项限制分别是：(一)中国工业不发达，研究经费很少，而物理研究往往需要非常昂贵的设施，故此，大陆与台湾的研究所及大学不是根本没有这些昂贵的设施，便是数目非常有限，结果研究人员要轮候，而管理的人则严格管制使用者，慎防仪器受损，这与美国设备非常充裕的情况相比，真有天壤之别。(二)大陆及台湾与世界研究中心的学术交流近年虽已较多，仍嫌不够。

问：你曾经批评中国在科技研究方面采取的攻关战术，现在的情况是否有变呢？

杨：有，有一点点的改善，但还不够。

学术研究要能有突破性的发展，而"散兵战术"应与攻关战术结合来使用，例如高温超导最先是从"散兵战术"中发现的，但当它被发现后，有关方面便可抓着这个"关"，集中资源来"攻"，这样收效会较大。

问：巴黎统筹委员会(英文简称 COCOM)迄今仍限制高科技输往"共产中国"，非华籍的华裔科学家可以做些什么呢？

杨：美国的华裔科学家普遍关心中国科技发展，且曾向有关方面表示应放宽高科技输往中国的限制；不过，要解决这方面的问题，最重要的还是中国自力更生。而我们可以做的，就是协助培训中国的科技人才。

问：70 年代以来，你一直成为海峡两岸的统战对象[3]，你对此有何看法？

杨：我对中华民族有深厚的感情，对于海峡两岸的统战，我是感受到的，但无论如何，我会本着自己的良知来做人，希望今后尽力发挥桥梁作用，促进中国的发展！

注:

① 高温超导体是一种在液氮温度下即出现超导现象(或无电阻)的新材料,目前许多国家正全力参与这场科技竞赛。迄今年5月23日为止,领先的是美国——休斯顿大学物理学家朱经武教授发现了一种在华氏零下54度出现超导电磁讯号的新材料;他说,有四种不同的化合物均具有这种超导的特性,其中之一更在室温时电阻已开始消失。

② 杨教授于今年初接受张文达先生访问时(见《明报》1987年3月11日),曾经这样描述规范场的问题:物理学家所追求的是物质的结构,先是普通所看见的物质,一块木头,一块铁,一块塑料,把这些东西仔细分析以后,就发现我们所看到的物质都是分子和原子造成;把分子和原子打破,发现里面有电子,原子核,把原子核打破,里面有质子有中子,以此类推。所以,基本物理学就是研究最后这些最小最小的结构自己是怎样构成的,以及它们怎样合起来构成分子原子和一切物质。

归纳起来,这问题有两部分,一部分是,最小的结构原料是什么?还有一部分是,这些东西是怎么粘在一起的?用我们的术语是说:什么力量把它们凝结在一起?这两方面,最后的粒子是什么,基本力量是什么,这就是基本物理学研究的主要内容。

关于力量这个问题,规范场的理论起了关键性的影响,现在已经被普遍地认识到,所有物理现象中的基本力量共有四种,而这四种力量的结构都是规范场。比如说,爱因斯坦的广义相对论是1916年发表的,现在了解到广义相对论——引力——是一种规范场。另外还有三种力量也都是规范场:一个是电磁力;一个是强力,即核力(核能发电就是利用此核力的);还有一个叫做弱力,弱力表现于放射性元素,^{60}钴的衰变就是弱力。

规范场的观念成为20世纪所发现的,基本物理学的结构的一个重要理论。

③ 杨教授于1949年在美国结婚,他的太太杜致礼是前国民党第五军军长杜聿明的女儿。杜聿明于中华人民共和国成立后,成为阶下囚,而杜聿明夫人曹秀清则在此之前飞往台湾。

1957年杨教授成为诺贝尔物理学奖得主之后,周恩来派遣他的老师张

文裕往见杜聿明，并请杜以岳父的名义，写信祝贺杨教授。其后，杨振宁的父亲杨武之（上海复旦大学教授）亦曾前往日内瓦与儿子会面。

台湾当局则于1958年托曹秀清前赴普林斯顿会见女儿及女婿。

对于这一连串统战行动，杨教授并没有积极反应，直到1971年7月下旬，他才由美国飞往上海探视抱恙的父亲，然后前往北京、大寨及他的出生地合肥访问了4个星期。

负一的平方根、复相位与薛定谔

本文是作者于1987年在英国帝国大学纪念薛定谔诞辰100周年大会上的演讲，原载 Schrödinger Centenary Celebration of a Polymath, ed. by C. W. Kilmister, Cambridge Univ. Press, 1987。中译文载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989年。译者唐贤民。

一、引　言

狄拉克在1970年4月的一次演讲中谈到早期的量子力学(Dirac, 1972)，在所涉及的几个论题中他讨论了不对易代数，并对此补充道：

> 问题在于，不对易性是否真是量子力学新观念的主体？我过去一直认为答案是肯定的，但最近我开始怀疑这一点。我想，从物理观点来说，可能不对易性并非唯一重要的观念，或许还有某些更深一层的观念。对于量子力学带给我们的那些通常的概念，或许还需作某些更深入的改变。

狄拉克进一步讨论了这个问题，并得出结论：

> 所以，如果有人问，量子力学的主要特征是什么？现在我倾向于说，量子力学的主要特征并不是不对易代数，而是机率振幅

的存在，后者是全部原子过程的基础。机率振幅是和实验相联系的，但这只是部分的联系。机率振幅的模的平方是我们能够观测的某种量，即实验者所测量到的机率。但除此以外还有相位，它是模为1的数，它的变化不影响模的平方。这个相位是极其重要的，因为它是所有干涉现象的根源，而它的物理意义是隐含难解的。所以可以说，海森堡和薛定谔的真正天才在于，他们发现了包含相位这个物理量的机率振幅的存在。相位这个物理量巧妙地隐藏在大自然之中，正由于它隐藏得如此巧妙，人们才没能更早建立量子力学。

人们可以同意也可以不同意狄拉克的见解，是引入包含相位的振幅更重要，还是引入不对易代数更重要，但毫无疑义，在物理学家对大自然的描述中，这二者都是具有深远意义的革命性进展。

经典物理学，即1925年以前的物理学，仅仅用到实数，在力学、热力学、电动力学等全部经典物理学中都是如此。在许多地方的确也用到复数。例如在求解线性交变电流问题时就用到复数。但是在求出解以后，总是取其实部或虚部，以得到真实的物理答案。所以在这种情况下使用复数仅仅是作为一种辅助的计算工具，也就是说，物理学在概念上只使用实数。

但是，随着矩阵力学和波动力学的发展，情况有了引人注目的变化，复数成了物理学非常基本的概念元素：矩阵力学和波动力学的基本方程是：

$$pq - qp = -i\hbar \tag{1.1}$$

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi \tag{1.2}$$

两者都明显含有虚单位 $i = \sqrt{-1}$。要强调指出的是，如果试图去掉 i 而只用方程(1.1)和(1.2)的实部或虚部，那么这些方程的

真实意义也就完全丧失了。

二、矩阵力学和波动力学中的复数

下面简单谈谈在矩阵力学和波动力学中引入复数的历史过程。

首先谈谈矩阵力学。在海森堡所写的开创性论文(Heisenberg, 1925)中，他把一个动力学量的傅里叶(J.B.J.Fourier)变换(它取决于一种态和一种傅里叶多重性)和它在“量子理论”中对应的量(它取决于两个态)进行了比较，在这个过程中，海森堡很自然地从概念上讨论了复数傅里叶振幅。在紧接着发表的一篇二人合写的论文(Born and Jordan, 1925)中，历史上第一次明显地出现了方程(1.1)，这也是虚数 i 第一次以基本的方式被引入物理学。稍后，在狄拉克发表的第一篇关于量子力学的论文(Dirac, 1925)中，也出现了方程(1.1)，同时还有：

$$\dot{q} = [q, H] = (qH - Hq)/(i\hbar) \tag{2.1}$$

这个方程也显含 i。这些进展情况表明，复数在矩阵力学中起着基本的作用。尽管这是物理学中的一个重要新进展，但当时却似乎没有得到应有的评价。这也许是由于矩阵力学是如此新颖，而傅里叶分析又是如此合理，以致引入复数的全部含意反而被当时发生的重大变革掩盖起来了。

现在转而讨论波动力学。波动力学是由薛定谔的6篇有历史意义的系列论文(Schrödinger, 1926a-f)所确立的①，这六篇论文都写于1926年的头六个月。在前五篇论文中，薛定谔把他的波函数分解成位置坐标 x 的实稳态函数和时间的正弦函数的乘积(Schrödinger, 1926c)②。

薛定谔当时这样做是不足为奇的，因为他把电子的驻波描述想象成类似于磁波或水波的驻波，这些波确有相位，但它们是由

实的时空函数所描述。例如，在薛定谔的论文(1926e)中，对波函数：

$$\Psi_n = e^{-x^2/2} H_n(x) e^{2\pi i \nu_n t} \tag{2.2}$$

有一个脚注，他写道："i 是 $\sqrt{-1}$，等式右端**按惯例**取实部。"(着重标记是我加的)这表明了他对此事的一般态度，即它们是和通常的线性电路理论一样的：Ψ 可以是复数，但最后总是取实部。

当然，在薛定谔探寻矩阵力学和波动力学之间的关系时，他不可避免要碰到 $i=\sqrt{-1}$，例如他的论文(1926c)中的方程(20)就是如此。这是否曾使他困扰，我们可能永远无法知道。但是，当他进而讨论二次项时，例如讨论 $\Psi(\partial\overline{\Psi}/\partial t)$(在其论文〔1926c〕中，简短地讨论过)或 $\Psi\overline{\Psi}$时(他在 1926 年 6 月 6 日以前的某个时候作的，参见下文)，他必定遇到了这些麻烦。

1926 年 5 月 27 日，73 岁高龄的洛伦兹给薛定谔写了一封长信，感谢薛定谔送给他三篇文章的清样。洛伦兹在信中还提出了许多有关波动力学的原则问题和具体问题。其中有两点和我们现在所讨论的问题有关：(a)如何说明两个粒子或更多粒子的 Ψ 函数；(b)洛伦兹认为："真实的'运动方程'……完全(不应该)含能量 E，而应代之以含有时间的导数。"同年 6 月 6 日，薛定谔回了一封同样长的信，其中包括 8 条意见，头两条就是回答洛伦兹提出的上述两个问题。

关于(a)，薛定谔说他已放弃了他先前手稿(Schrödinger, 1926f)中 $\Psi(\partial\overline{\Psi}/\partial t)$的表示式，现正专注于研究实空间中的电荷密度 $\Psi\overline{\Psi}$。他接着写道："令人不满意和很快遭到非议的事情是使用了复数。从根本上说，Ψ 无疑是一个实函数。"随后他指出从 Ψ 的实部 Ψ，构成复函数 Ψ 的方法。薛定谔本人显然对这个方法也不很满意。

关于(b),薛定谔写道:

$$-h^2\ddot{\Psi}=E^2\Psi \tag{2.3}$$

然后利用 $H\Psi=E\Psi$ 消去 E,得到:

$$-h^2\Psi=H^2\ddot{\Psi} \tag{2.4}$$

他补充说:"这可能正是一个普遍的波动方程,它不再包含积分常数 E,而是包含时间导数。"薛定谔继续思考这个问题,5 天以后,在 6 月 11 日写给普朗克(M. K. E. L. Planck)的信中他说:"顺便说一句,近几天,另一件事使我如释重负,它虽曾使我十分不安,……但它终以其自身的从未有过的简单和完美而得到解答。"这个解答是什么呢? 它就是上述方程(2.4)。

为什么薛定谔不简单地写出正确的时间相关方程(1.2),而宁可用较复杂的方程(2.4)呢? 他当然知道这个较简单的方程,但却选择了较复杂的二阶方程③,这是为什么? 我认为答案如下:

薛定谔不想使他的波动方程包含 i,就利用 $i^2=-1$ 来消去它,从而导至四阶方程(2.4),他力图避免 i 是很自然的,因为在他的论文(1926a)中,他建立波动力学是借助于写出实的哈密顿—雅科比(Hamilton-Jacobi)方程:

$$H(q,\partial S/\partial q)=E$$

以及

$$S=K\log\Psi$$

他的符合这个要求的 Ψ 是实的和与时间无关的。稍后,在论文(1926a, §3)中,他写道:"当然,它有力地表明,我们应该试图把函数 Ψ 和原子中的某种振动过程联系起来……",但这可不是一个简单的过程,因为薛定谔必须设法解决一个棘手的问题,即这种振动的频率是什么。薛定谔后来对这个问题的想法的演变是一个饶有趣味的课题,但不是我们在这里所要讨论的内容。我们现在

关心的是这个事实，薛定谔构思出用实的时空函数来描述振动，从而建立了他的波动力学的概念。后来当他对 Ψ 作叠加时，仍然是指把实的 Ψ 加起来，其中每一个 Ψ 都随时间作正弦变化。

现在回到薛定谔 6 月 11 日给普朗克的信，他在信中进一步指出，在方程(2.4)中，“可以令势能是时间的显函数”。这已被证明是错误的，薛定谔在那以后的 10 天里，领悟到了这一点。他当时就写了论文(1926f)，于 6 月 23 日寄到出版社。正是在这篇文章中，他第一次提出这样的概念：Ψ 是时空的复函数并满足复时变方程(1.2)。薛定谔把(1.2)式称为**真正的**[4]波动方程，以区别于 $H\Psi=E\Psi$，他把后者称为振动方程式或振幅方程。

我应该强调一下，上面追溯了薛定谔早期的一些论文，我并未由此推断说，薛定谔在其论文(1926f)中关于 Ψ 应是复数的发现，是源于 1926 年 5 月 27 日洛伦兹给他的信。情况可能如此，但事情也可能是这样的：在薛定谔写了那篇和时间无关的微扰论的论文(1926d)之后，他着手研究与时间有关的微扰论，于是，他必须研究波函数 Ψ 随时间的变化。而可能是正在进行这项研究的时候，他收到了洛伦兹的信。可以断定的是，薛定谔是在 6 月 11 日到 6 月 23 日之间，最后确定 Ψ 是复函数的。

薛定谔的论文(1926f)寄出几天以后，玻恩(M. Born)寄出了关于波函数统计诠释的两篇历史性文章(Born, 1926a, b)中的第一篇。值得注意的是，在这两篇中的第一篇，玻恩对入射波用了一个实波函数：

$$\sin\frac{2\pi}{\lambda}z$$

来表示，而对散射波用了另一个实波函数：

$$\sin k_{nmi}(\alpha x+\beta y+\gamma z+\delta)$$

来表示。因为每一个波函数都是实函数,所以玻恩在其著名的脚注(加于第一篇论文的校样)中,不用“绝对值平方”而仅用“平方”。佩斯(A. Pais)对此曾说(Pais, 1986):“跃迁机率的正确概念,这个重大的新事物,是以脚注的方式进入物理学的。”玻恩只是在第二篇论文中才对入射波和出射波使用了复数。

三、韦耳(H. Weyl)规范理论中的复数

上面我们考查了 1925—1926 年间,在基础物理学中引入复数的历史,事实上,在这以前几年,薛定谔(1922)已经发表了一篇很有意义的论文,题目是《关于单电子量子轨道的一个不寻常的性质》。在这篇文章中他已指出,在韦耳 1918 年的规范理论中引入一个虚因子:

$$\gamma = -i\hbar \tag{3.1}$$

的可能性。他从韦耳的“世界几何”(即 1918 年韦耳的电磁规范理论)入手,把韦耳的思想概括到一个**指数因子**:

$$\exp\left[-\frac{e}{\gamma}\int(V\mathrm{d}t - \vec{A}\cdot\mathrm{d}\vec{x})\right] \tag{3.2}$$

里,并且注意到,对于一个氢原子,$A=0$,指数中的表示式等于:

$$-\gamma^{-1}eV\tau$$

其中 τ 是周期。对于一个量子数为 n 的玻尔轨道,它等于 $-\gamma^{-1}nh$,即 $\gamma^{-1}h$ 的整数倍。薛定谔把这个结果称为不寻常的,并且说他难以相信,这中间会不含有更深刻的物理意义。

在这篇论文的末尾,薛定谔指出了两种可能的 γ 取值,一种是实数,$\gamma = e^2/c$,另一种是 $\gamma = -i\hbar$,即上面的(3.1)。他指出,对于后一种取值,因子(3.2)成为 1。

在薛定谔创立波动力学的几篇重要论文中，他没有引证1922年的这篇论文，但拉曼(V. V. Raman)和福尔曼(P. Forman)在研究这段历史时(1969)认为，关于“为什么是薛定谔发展了德布罗意(L. V. de Broglie)的思想?”他这篇1922年的论文实际上起了重要的作用。他们的论点后来由哈恩利(P. Hanle, 1977、1979)以及韦塞里斯(L. Wessels, 1977)所证实。他发现薛定谔1925年11月3日给爱因斯坦的信中有下面一段话：

> 在我看来，德布罗意对量子规则的解释似乎和我在论文(*Zs. f. Phys*. 12, 13, 1922)中的想法有某种联系，我在那篇文章中已表明，在每一个准周期中，韦耳规范因子$\exp\left[-\int\varphi \mathrm{d}x\right]$有奇异的性质。就我所见，在数学处理上二者是相同的，只不过(他的)比我的更正规，但却不够完美，实际上也没有作一般的证明。自然，德布罗意在他的普遍理论框架中所作的研究，比我对一个具体课题所作的阐述要有意义得多，何况当初我对自己所做的工作的意义还是不大清楚的。

13天以后，即1925年11月16日，薛定谔写信给朗德(Lande)说(Raman and Forman, 1969)：“近来我深深地被德布罗意的天才的论文所吸引，它格外令人振奋，然而某些部分却难以接受。我自己尝试画出电子在椭圆轨道上的相位波的图像，结果却是徒劳的。‘射线’几乎总是与等能量的开普勒(J. Kepler)椭圆相邻接，得到的是并非期望的‘散焦线’或类似于波前的线。同时，波长应该等于在一个塞曼(Pieter Zeeman)或斯塔克(Johannes Stark)周期中(电子轨道对应的波长)。”薛定谔显然在这以前已着手作关于波动力学的第一篇重要论文，并于1926年1月27日寄出(Schrödinger, 1926a)。

薛定谔1922年的论文对于建立波动力学起了根本的作用，

拉曼、福尔曼、哈恩利的这个论点显然是正确的，我们用图1中的箭头来说明这一事实。

那么为什么薛定谔在1926年没有引证他自己1922年的论文呢？原因可能是这样的：1922年的论文讨论了前述因子(3.2)，由式(3.1)可改写为：

$$\exp\left[ei\int A_\mu \mathrm{d}x^\mu/\hbar\right] \tag{3.3}$$

而1926年的几篇论文是和德布罗意的思想有关的，为了比较，可以把德布罗意的思想表示成一个因子：

$$\exp\left[i\int p\cdot \mathrm{d}x/\hbar\right] \tag{3.4}$$

的形式，二者相似而不相同。薛定谔认识到，适合于建立波动力学的因子是式(3.4)而不是式(3.3)。

当时薛定谔正忙于发展波动力学。他的1922年论文受到了伦敦(F. London)的重视，伦敦给薛定谔写了一封很有趣的信，此信已由拉曼和福尔曼翻印(1969)，我们把该信的译文附录于后。按拉曼和福尔曼的意见，该信写于1926年10月10日左右。

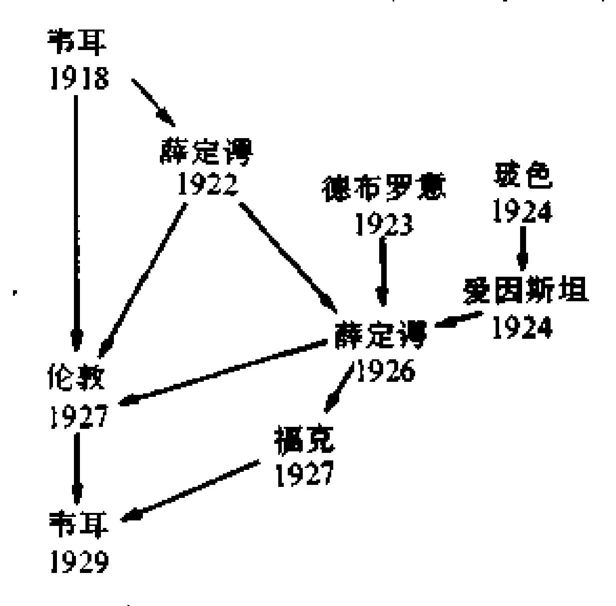


图1　与复相位和规范场有关的概念流图，薛定谔1922年论文的重要性是由拉曼和福尔曼(1969)以及哈恩利(1977、1979)发现的。

伦敦在题为《韦耳理论的量子力学意义》的论文(London, 1927a；参见London, 1927b)中，进一步发展了这种思想。在稍早些时候，福

克(V.Fock)发表了一篇讨论波动方程不变性的论文(1927),这两人的文章都多少有些含混不清之处[5],这在波动力学发展的初期是很自然的,但二者又都包含有正确的思想。用现今的术语表示,就是用一个作用到波函数 Ψ 上的算符($\partial_\mu - ieA_\mu$)来把电磁理论引入波动力学。这是规范原理的核心(见图 1)。后来在一篇重要的论文中(Weyl,1929;也可参见 Yang,1986),才把电磁理论作为一种规范理论进行了完整的讨论。

四、现代的成果

物理学家把具有相位的复振幅引入到对大自然的表述中去,其重要性到本世纪 70 年代才充分显示出来。在 70 年代,在以下两方面有了进展:(1)发现所有的相互作用都是某种形式的规范场;(2) 发现规范场与纤维丛的数学概念有关(Wu and Yang,1975),每一根纤维是一个复相位或更广义的相位。这些发展,形成了当代物理学的一个基本原则:全部基本力都是相位场(Yang,1983)。所以,薛定谔在 1922 年几乎是偶然地把虚单位 i 引入到式(3.1)中去这件事,现在已经开出了深邃的观念之花,这些观念奠定了我们理解物理世界的基础。

在 1975 年吴大峻和我作了一个术语对照表(见表 1),它把物理学家对规范场的术语和数学家对纤维丛的术语对应起来(Wu and Yang,1975)。

这个对照表中有一行带有问号的空位,这是因为当时数学家还没有研究与物理学家的“源”相对应的概念,所谓“源”,就是密度—电流四维矢量,在麦克斯韦电磁理论中,这是一个既自然又基本的概念。在数学家的语言中,这个概念现在已经被写为:

$$* \partial * f = J \qquad (4.1)$$

无源情况将满足：

$$* \partial * f = 0 \tag{4.2}$$

数学家现在已研究了式(4.2)，其结果已有助于求解拓扑学和微分几何学中的一些长期悬而未决的难题，这个当代的例子说明物理学对于数学的进展，提供了多么强大的动力(D. Freed and K. Uhlenbeck, 1984；B. Lawson, 1988)，这种例子在前几个世纪很多，而现在则少了。

表 1　对比规范场论和纤维丛理论中的术语"词典"

规　范　场　术　语	丛　的　术　语
规范(或球面规范)	主坐标丛
规范型	主纤维丛
规范势 b_μ^K	一个主纤维丛上的联络
S_{ba}	转移函数
相因子 Φ_{QP}	平移
场强 $f_{\mu\nu}^K$	曲率
源* J_μ^k	?
电磁学	$U_1(1)$丛上的联络
同位旋规范场	SU_2 丛上的联络
狄拉克磁单极量子化	$U_1(1)$丛按第一陈类分类
无磁单极电磁学	平凡的 $U_1(1)$丛上的联络
带磁单极电磁学	非平凡的 $U_1(1)$丛上的联络

* 即电源，是广义化的电荷和电流概念。

附：伦敦给薛定谔的一封信[⑥]

亲爱的教授：

今天我要和你认真谈一谈。有一位薛定谔先生你认识吗？他在 1922 年描述了"电子轨道的奇异性质"(*Zeits. für Phys.*,

12)。你和此人熟悉吗？什么！你说你很了解他！而且当他进行该项研究时你甚至在场，你还是他的合作者？这真是前所未闻的事。看来4年前你就已经知道，在连续的四维时空里，不能用量尺和时钟来定义爱因斯坦—黎曼(Einstein-Riemann)度规关系，而原子过程又必须在连续四维时空中来研究，于是人们不得不搞清楚由韦耳的距离转移理论所阐明的普遍的度规原理是否可用。而四年来你清楚地知道这些原理是极为有用的，正当应用韦耳的距离转移理论而常常出现困难时（爱因斯坦的异议〔Yang, 1986〕，韦耳的修正和他的很不高明的辩解〔Weyl, 1968〕），你却已经证明，就分立的物理轨道而言，标度单位（用 $\gamma=2\pi i/h$）对于各具体的闭合路径是可以重复的；其实，你在那时就注意到，对于第 n 个轨道，标度单位精确地放大和缩小 n 倍，就像描述电荷所在处的驻波一样。于是你已阐明，韦耳的理论是十分合理的。这就是说，当把它和量子理论结合起来时，将导致唯一的测定。实际上，如果整个原子世界是一种连续时空，找不出任何固定的点，人们还有什么事情可做呢。你知道这一点，但你却绝口不谈，只字未提。这种事情是前所未有的。你在论文中(p.14)说得很谦恭，在讨论这个事实所可能具有的意义时，你未多加议论。（赶快忏悔吧！）在这篇论文中，你不仅已经消除了韦耳理论中绝望的混乱，而且远在德布罗意之前，你这篇论文就已具有类似于量子假设的特征。不仅如此，你甚至想到是否应该取 $\gamma=h/2\pi i$ 或 e^2/c(p.23)！现在你该立即像牧师那样忏悔了吧，你曾把你手中的真理秘而不宣。把你所知道的一切向同行都讲出来吧！1922年你所作的探讨是旧量子力学的一个定理，最重要的事情尚有待完成，可以有把握地预期，一旦把你的理论和波动力学完美地结合起来（我还没有做到这一点），就将显示出它的全部意义。我想你既已如此使学术界困惑，现在来彻底澄清一切，是你的责任。

该停笔了，非常感谢你为我那封无聊的信[7]花费了那么多时间，我已暂时中断了对此事的研究。我认为由于有了完美的韦耳空间理论，从整体来看应该说卡鲁札—克莱茵(Kaluza-Klein)空间理论将遇到挫折。我愿意密切注视这一点。我有一些不同的线索，它们表明，把韦耳的和卡鲁札的空间理论统一起来是不困难的(把标度单位作为第五维对每一世界点作图，就立即可看到许多美妙的东西！)我急切地期待着阅读你的原稿[8](这里至今还没有)，特别是经弗斯(Fues)提示之后更是如此，即使只有一天的时间给我看，我也将非常、非常高兴能够读到它。

顺便说一句，洛克菲勒基金会已经同意，电报昨天收到。我现在肯定可以同你合作，为此，我感到非常高兴。

祝你旅途愉快，我期待着你的回答。

衷心的致意

你忠实的

伦敦

注：

① 佩斯(1986)引用韦耳的话说："薛定谔正当其迟来的爱情迸发时做了他的伟大的工作。"

② 见该文方程(35)后括号内的评注。

③ 在薛定谔于1926年6月11日以前所写的五篇论文(Schrödinger, 1926a-e)中，方程式(1.2)从未出现过。但发现了诸如式(2.2)的方程。这意味着薛定谔知道 $i\hbar\dot{\Psi}=H\Psi$。在他于6月6日给洛伦兹的信中，对 Ψ 的实部 Ψ，作了混乱的讨论，这清楚地表明，薛定谔那时正在为消去(或定义)虚部而努力。

④ 薛定谔在德文稿中用的词是 eigentlich，我把它译为 true，也有人把它译为 real，在这里的上下文中，real 很容易造成混乱。

⑤ 我曾说过(*Ann. N. Y. Sci* .294, 86 (1977))，伦敦的论文指出在福

克的著作和韦耳的论文之间有相似性,这是错误的。我曾误解了脚注(On P.111 of W. Pauli, *Handbuch der Physik*, vol.24, Part Ⅰ〔1933〕)的意思。

⑥ 拉曼和福尔曼在他们的文章中重印了这封德文信。他们的文章发表在《物理科学的历史研究》上(*Hist. Studies Phys. Sci.*, Vol. 1, pp. 291～314)。他们认为,这封信是写于1926年10月10日左右。此德文信由孟大中教授(T.C. Meng)翻译成英文,再由唐贤民自英文译为中文。

⑦ 拉曼和福尔曼认为,这是指1926年12月1日的信,薛定谔于12月7日作复。

⑧ 拉曼和福尔曼认为,这指的是有关相对论波动方程的手稿,在薛定谔1926年12月7日的信中曾提到它。

参考文献:

Born, M. (1926a) *Z.f. Phys.* 37,863(received June 25).

Born, M. (1926b) *Z.f. Phys.* 38,803(received July 21).

Born, M. and Jordan, P. (1925)*Z.f. Phys.* 34,858(received September 27).

Dirac, P.A.M(1925) *Proc. Roy. Soc.*109,642(received November 7).

Dirac, P.A.M(1972) *Fields & Quanta* 3,139.

Freed, D. and Uhlenbeck, K.(1984) *Instantons and Four-manifolds*. Springer.

Fock, V. (1927) *Z.f. Phys.* 39,226.

Hanle, P.(1977) Isis 68,606.

Hanle, P.(1979) *Am.J. Phys.* 47,644.

Heisenberg, W. (1925) *Z.f. Phys.*33,879(received July 29).

Lawson, Jr., H. B.(1985) *The Theory of Gauge Fields in Four Dimensions*. American Mathematics Society 58, Providence, RI.

London, F.(1927a) *Z.f. Phys.* 42,375.

London, F.(1927b) *Natrwiss.* 15,187.

Pais, A.(1986) *Inward Bound*, p.257. Oxford University Press.

Raman, V.V. and Forman, P.(1969) *Hist. Studies Phys. Sci.* 1,291.

Schrödinger, E.(1922) *Z.f. Phys.* 12,13.

Schrödinger, E.(1926a) *Ann. d. Phys.* 79,361(received January 27).

Schrödinger, E.(1926b) *Ann. d. Phys.* 79,489(received February 23).

Schrödinger, E.(1926c) *Ann. d. Phys.* 79,734(received March 18).

Schrödinger, E.(1926d) *Ann. d. Phys.* 80,437(received May 10).

Schrödinger, E.(1926e) *Die Naturw.* 28,664.

Schrödinger, E.(1926f) *Ann. d. Phys.* 81,109(received June 23).

Wessels, L.(1977) *Studies Hist. & Phil. Sci.* 10,311.

Weyl, H.(1929) *Z.f. Phys.* 56,330.

Weyl, H. (1968) in (Chandrasekharan, K., ed.) *Gesammelte Abhandlungen*, Vol. Ⅱ, p.261. Springer.

Wu, T.T. and Yang, C.N.(1975) *Phys. Rev.* D 12,3845.

Yang, C.N. (1983) *Selected Papers 1945—1980 With Commentary*, p. 564. Freeman.

Yang. C.N. (1987)(Chandrasekharan, K., ed.). Springer (in Press).

一个真的故事

本文原载中国《物理》杂志1987年16卷3期。

1986年3月，我在纽约买到一本新书，名叫 *Second Creation*（《第二次创生》），是两位研究物理学史的作家写的，他们是克里丝（R.P. Crease）与曼恩（C.C. Mann）。书中描述了本世纪许多重大的基本物理学发展，全书二十章中有三章专门讨论发现重整化概念的实验与理论经过。

重整化是一个极重要的观念，它的发现获得了两次诺贝尔奖：兰姆（W.E. Lamb）与库什（Polykarp Kusch）1946—1947年的实验工作于1955年得奖，朝永振一郎（S. Tomonaga）、施温格（J. S. Schwinger）与费曼（R.P. Feynman）1947—1948年的理论工作于1965年得奖。《第二次创生》对这些获奖经过有很详尽的描述。

特别使我发生兴趣的是书中对这方面早年实验发展的讨论。原来在30年代就有好几个实验组已经在研究氢原子光谱，与后来兰姆在1946—1947年的工作是在同一方向。其中一组是加州理工学院的豪斯顿（W.V. Houston）和谢（Y.M. Hsieh）。他们做了当时极准确的实验，于1933年9月写成了长文投到《物理评论》（*Physical Review*），经5个月以后发表。《第二次创生》对此文极为推崇，说文中作了一个“从现在看来是惊人的提议”：他们

的实验结果与当时理论结果不符合，他们说这可能是因为对于光子与原子的相互作用，理论工作者没有正确处理。

他们的实验结果从今天看来是正确的。他们的提议也正是后来1947—1948年关于重整化的理论的主要发展方向。不幸的是与他们先后同时有几个别的实验组得出了和他们不同的结果，产生了混乱的辩论，没有引起当时理论物理学界的广泛注意。十多年以后，兰姆用了新的技术研究氢原子光谱，得到了高度准确的结果，引起大震惊，才导致出来重整化的发展。

豪斯顿和谢的工作我从来没有听说过。看了《第二次创生》中对他们工作的推崇以后，我想到谢也许是现任复旦大学校长谢希德的父亲谢玉铭教授。可是一时不能证实。非常凑巧，几天以后，谢希德自美国西岸打电话来讨论学术交流的事情，我趁机会问她谢玉铭教授是否曾于30年代初在加州理工学院访问，并曾与豪斯顿合作。她说：

“是的。你为什么要问？”

我兴奋地告诉了她书中的故事，并且问：

“你知道不知道你父亲那时的工作很好，比兰姆的有名的工作早了十几年，而且兰姆的结果证明你父亲的实验是正确的？”

“我从来不知道。当时他只告诉我，在从事很重要的实验。”

“你们父女都是研究物理的，兰姆的1946—1947年的工作引起震惊的时候你已经是物理学工作者了，他怎么没有和你谈起他自己30年代的工作呢？”

电话那端沉默了一会儿，“说来话长。我们没有机会。家父于解放前去了菲律宾，他写信要我留在美国或英国。我于1952年回国。回国后曾多次给他老人家写信，都没有收到回信，我猜他对我不听他的话很不高兴。所以我们始终没有机会讨论他早年的工作。”

我本来知道谢希德在50年代培养中国半导体研究人才的功劳，也知道她在文革时期所受到的灾难，和文革以后对复旦大学的贡献。却没有知道她和她父亲之间的这一段历史。一时我不知应说什么好。希德停顿了一下，接着说下去：

"前几天，我刚自上海来到美国西岸，到芝加哥时突然接到消息，家父于3月20日在台湾去世了。他大约是10多年前自菲律宾退休以后搬去台湾的。"

又停顿了一下。

"我们父女40年没有见面了。他一定很伤心。我也很伤心，因为我知道他一直特别喜欢我。"

我对统计力学和多体问题的研究经验

本文是作者于1987年10月18日在南开大学授予苏联科学院院士法捷也夫名誉教授仪式后的演讲。原载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989年。本文标题编者略有修改。

首先我要指出，上面法捷也夫(L.D. Faddeev)教授的演讲有许多有意思的东西。我要问法捷也夫教授，他刚才所讲的内容是否已经发表了。如果已经发表了，等一会请法捷也夫教授写在透明片上，大家可以记下来，回去查查他的有关文章，这样可以对他的"整个物理理论的数学结构看作数学的变形(deformation)理论"的细节得以详尽的了解。

我今天想和大家谈的，是有关我个人在统计力学和多体问题研究方面多年来的经验。今天在座的有许多青年人，也许他们对这些经验会感兴趣。

我在统计力学和多体问题方面的兴趣起源于我在西南联大读书时跟王竹溪先生学习的时候。大概讲起来是这样的，1942年我进入昆明西南联大研究院，那时在研究院念两年，就可以得到硕士学位。为获得硕士学位，需要写一篇论文，我为此去找王竹溪先生。那时王先生从英国念完博士学位回国，他曾是福勒(Fowler)的学生。他所研究的课题是相变问题，所以很自然地，

他把我引到相变问题这个研究方向上来。

但我对相变问题产生兴趣并不是仅仅因为我跟他做论文。在我没进研究院以前，王先生曾作过一系列演讲，在当时是很轰动的。为什么呢？在30年代中，大家对相变发生了很大的兴趣，所以福勒让王先生作相变问题。在座的也许知道张宗燧教授（已故去很久）。他和王先生年纪差不多，也是福勒的学生，并且也做相变问题。现在看起来，相变问题是平均场理论，是一个物理想法很浓但不够准确的方法。在1938年至1939年左右，一个年轻的美国人叫约瑟夫·迈耶（J. Mayer），他是玛丽·迈耶（M. Mayer）的丈夫，而玛丽·迈耶后来在核理论方面取得很大成就。约瑟夫·迈耶在30年代时，发表了称为迈耶相变理论的文章，这在当时是十分轰动的。他的文章较为数学化，里面有许多推论现在看来是不对的。当时大家辩论得很厉害。

在30年代，他的这个理论曾被很多人讨论过。因为在30年代以前，即在迈耶理论之前，对两个不同的相之间的关系，是采取这样一种态度：有一个液体的相，有一个气体的相，这两个不同的相是不发生关系的。这是两个不同的运动系统，不同的力学系统。假若偶然有一个自由能（Free Energy）的话，那么它们可以产生一个相变。迈耶的理论与此不同，他的理论是使用同一个微观运动系统。指出可以出现两个不同的相，而且这两个相运动到一个适当的情形之下，可以从一个相到另一个相发生一个相变。这在当时是一个革命性的想法，所以很多人不相信。

在1938年或1937年左右，在阿姆斯特丹的一个很大的国际会议上有许多人就不同意迈耶的这个理论。不过，这个新的理论很快地就被很多人注意了。其中发展出来两个很重要的工作，一个是卡恩（Kahn）和乌伦拜克（Uhlenbeck）的工作，卡恩是乌伦拜克的学生。不幸的是他死于第二次世界大战，当时他是一个非常

杰出的青年物理学家。还有一个是玻恩(Born)和富契(Fuchs)的工作。他们两组人分别写出了非常多的文章,用以讨论迈耶的理论。这对30年代末的物理学界来说是非常轰动的一件事情。

这件事与我的联系是起因于王竹溪教授。在英国时,他了解到这些理论,尤其了解了玻恩和富契的理论。我记得非常清楚的是,我大学还没有毕业时,王先生在西南联大做了一系列演讲。当时去听的人很多,我也去听了。我懂没懂王先生所讲的呢?没有懂。因为那时我大学还没有毕业,他所用的数学和物理概念很多,不是我当时所能够理解的。不过王先生的演讲给我留下了很深的印象,对我后来很有用处。为什么说很有用处呢?因为我知道这里边有一些很妙的东西,并且与实际的现象有密切的关系。所以,这件事情我以后一直没有忘记。

刚才我讲过了,我在中国时跟王先生学到很多统计力学。后来在1945年到1948年,我在芝加哥大学读研究生,然后又在那里当了一年教员,由于受到费米(Fermi)、泰勒(Teller)、约瑟夫·迈耶和玛丽·迈耶的影响,在这期间我主要做的工作是有关基本粒子和核物理方面的。

可是由于我在中国时听了王先生的演讲,对统计力学发生了兴趣,所以我自己在图书馆里又继续看了许多统计力学方面的文章。其中有两个重要方向:一个是昂萨格(Onsager)在1944年所作的二维空间Ising模型的精确解,还有一个是在1931年贝特(Bethe)所发表的关于布洛赫(Bloch)的自旋波在一维空间的精确性。这两个方向都引起了我的兴趣。

不过当时我虽然花了很多时间,但没有得到成功的结论。因为昂萨格的解是非常难懂的。他的文章虽不长,只有十四五页,可是非常浓缩。虽然每一步的代数运算我都可以花些时间弄懂,

但总体上他向什么方向走，并没有解释清楚，所以我不了解。

在贝特假定方面，布洛赫写了一篇当时立即就引人注目的关于自旋波的文章。在文章中物理概念很多，可是解不精确。因为各个不同的自旋波可以碰撞，可以散射，但布洛赫不知怎样处理这个问题，他只是给了一个近似的讨论。结果贝特写了一篇文章，指出至少在一维空间可以严格解这个问题，既使是有许多自旋波。他当时对此充满信心，这一点可以看他1931年文章的脚注。他说这个观念可以推广到二维和三维空间，并说在以后发表的文章中他会讨论这些问题。可是以后的文章他再也没发表。今天，我们知道这是不能推广到二维和三维空间的，这里有着很深的道理。或者反过来说为什么在一维空间可以解这个问题的道理是很深的。

总而言之，总体上讲，由于我在中国受到了王先生的训练和听他的演讲后，我对统计力学发生了兴趣。在芝加哥期间，在这方面我做了一些尝试，可是这些尝试都不太成功。对于贝特假定，最大的困难是我虽然懂了他的方程式，但这些方程式是一些有许多三角函数和反三角函数的方程式。这些方程式的第一个问题就是它有没有实数解。有关这个问题后来一位瑞典固体物理学家和理论物理学家，写了很多文章，但看起来非常难懂。所以，我在这两方面的尝试都不太成功，不过这些尝试都对我后来的工作有决定性的影响。

我在1949年离开芝加哥大学到了普林斯顿高等学术研究所。普林斯顿高等学术研究所当时最热衷于重整化理论，我自己也做了一些重整化理论的工作，同时我也作了一些和实验物理比较接近的高能物理方面的工作，例如，当 π^0 介子变成两个光子时，从对称的观点看起来，会使我们得到什么结论。不过我还是继续注意着统计力学。

在当时有一件对我说来是非常幸运的事情，这也表明学术交流是非常重要的。它也表明学术交流不能在一片沙漠上开花，需要在本来有一些条件的地方才能开花。为什么这样讲呢？因为当时我主要不是在做统计力学。当时是1949年秋，但我对统计力学继续有兴趣。普林斯顿高等学术研究所在市区外，所里有一个小面包车可以从市中心到所里。我住在市里，每天早上我坐这个面包车到所里去。研究所里那时有二十几个现在称之为博士后的年轻人（当时博士后这个名称还不存在），我也是其中的一个。跟我同是“博士后”的年轻人中有一个叫路丁格（Luttinger）的，他现在是哥伦比亚大学教授，后来一直在做固体物理方面的工作。

就在坐小面包车的时间里，有一天，他对我说，他刚刚弄懂昂萨格和他一个学生叫考夫曼（Kaufman）的文章，把昂萨格的原来不能懂的文章变得可以弄懂了。我问他有什么妙诀，他告诉我，这个妙诀就是他们引用了一个定理。这个定理我想在座的很多人是知道的。这个定理说：假如有 $2N$ 个反交换算子或矩阵，它们有一个表示。这个表示的大小是比较高的，是 $2^N/2$ 那么大的阵距。这个定理在我念狄拉克（Dirac）理论时就已经知道了，可是为什么能引用呢？路丁格就在车上的十几分钟内告诉了我。我想，这果然是很妙的。这一点弄懂后，我立刻明白了我在芝加哥大学没弄懂而被昂萨格牵着鼻子走时做的那些事情是怎么一回事了。

到了所里后，整个上午我没做别的事情，专门把这个问题弄清楚。到了中午，我就完全弄清楚了昂萨格和考夫曼做的是怎么一回事了。我想这东西很妙，也许我们可以研究研究别的东西。当时我想也许可以研究三角形晶格等类似问题。于是我去找路丁格，对他说，这个东西现在我懂了，果然是非常之妙，恍然大悟。

知道了昂萨格的妙诀是什么，我们来做一做三角形晶体，一面可以对昂萨格的东西更了解一些，一方面也许可以发展出一些新的东西。可是那时候，他正大算重整化，对此不感兴趣。我自己想了想，虽然这东西有用处，可是不能导出完全新的结果，所以也就没有做下去。

但过了几天，我又回想起这个问题，我想也许有更深入的问题可以做。昂萨格把比热曲线算出来了，我说可不可以算磁化？最后于1951年，我花了半年时间算出来了。这件事情对我有很重要的影响，因为这一来把我引导到了统计力学的精确解这个领域，而这一领域后来大大地发扬光大了。在很早的时候，我就进入了这个领域，对我来说是占了很大便宜。

我现在应该补充一下，在1951年我写出了Ising模型的方晶格的磁化以后，过了一年我到西雅图华盛顿州立大学去访问，那时在那里有个研究生，即张承修教授，现在武汉。我对他说，你也许可以把我年前的工作推广到一个长方型的晶格做同一计算，这个计算也很复杂，不过方晶格计算用过的方法都可以搬来，只是要改一改。

这样他计算了几个月，把结果得出来，写了一篇文章。非常有意思的是，在他的文章的尾巴上加了一段话，指出在二维空间中方晶格和长方形晶格得出同一 β 值的结果，都是1/8，也许具有普适性，我相信这是历史上第一次在文章上有这样的观念。

现在我回过来讲我自己在统计力学方面发展出的新的结果。1951年秋天，李政道从伯克利到普林斯顿来。李政道在芝加哥大学得博士学位比我晚二年，他花了几个月时间在约克斯(Yerkes)天文台跟钱德拉塞克(Chandrasekhar)做天文物理学，然后在1950年夏季到伯克利当了一年教员。我在1951年初对研究所所长奥本海默(Oppenheimer)讲，在伯克利有一位非常聪明

的、年轻的物理学家，我建议所里请他来这里做两年“博士后”。结果奥本海默就请他来了。所以1951年秋天，李政道就到了普林斯顿高等学术研究所。

那时我对Ising模型还是非常有兴趣的，所以同他合作。我说我们来研究一下底下的计算，底下的计算是什么问题呢？昂萨格做了比热，我做了底下的磁化计算，再底下就是磁化率的计算，你也可以说，一个是原来的计算，一个是它的微分，一个是它的微分的微分。当时我看得很清楚，昂萨格的计算里面，内容非常之广泛，绝对不仅仅是比热，所以我就做了它的第一个微分，就是磁化，那么还有第二个微分，第三个微分，还可以继续做下去，这些都有准确的公式。所以李政道和我在1951年秋天做的第一件事情就是计算磁化率，也就是第二个微分。计算了几个星期后，就发现太复杂了，是一个越搞方程越长的问题，所以后来我们就改变了方向。

所改变的方向是很惊人的，因为我们把整个发展方向改了，是向着迈耶的理论方向转过去了，从而在1952年夏季，我们写出了两篇很有意思的文章，内容是把解析延拓这个观念放到配分函数里面去，尤其这里面有一个很有名的定理，现在称之为单位圆定理。这是我们在那一年发现的。通过这一类定理，对迈耶的理论的理解得到很大的进展，也可以说，这是我对统计力学发生兴趣后的第二步工作。

在我跟李政道的工作以后，在50年代初到50年代中，因为德波尔(De Boer)到普林斯顿高等学术研究所来访问，他是当时大家都知道的对液氦的理论和实验知道得最多的。所以我们请他在所里面作了关于液氦的一系列演讲。这对我的好处很多。以后几年，我在做基本粒子的工作以外，又跟黄克孙，后来跟李政道做了一系列工作。关于液氦的结构以及用微扰法来计算多体

问题里面的许多统计力学问题。到了 1960 年底，这一类工作可以说结束了，虽然我们没有完全解决这些问题，不过我们发明的方法当时已经不知道怎么再推广下去，所以后来几年我没有做这方面的工作。

在 1961 年我的兴趣又重新发生了，是因为 1961 年夏天我到斯坦福大学去访问，那个时候费尔班克(Fairbank)跟他的学生正在做磁束量子化(Flux quantization)的问题，我一到那里他就问我："假如我们发现有束量子化，这是一个新的、物理的、原则性的现象，还是就由原有的物理学可以推演出来的?"那个时候，我从来没有听说过有这个束量子化。束量子化最早是在 50 年代由伦敦(London)和昂萨格提到过的，所以我说我研究研究。过了一个多月，他做出实验来了，有束量子化。另一位物理学家和我研究这个问题也得到了一个结论，我们会回答他们的问题了，就是束量子化不是一个新的原则，是用经典的统计力学加上量子力学加上麦克斯韦方程可以推导出来的。

这个事情就引导了我对这类问题发生兴趣，大家也许知道量子霍耳效应(Quantum Hall effect)，跟这一类工作有很密切的关系。阿哈罗诺夫—博姆(Aharonov-Bohm)实验也是跟这个有很密切的关系的。所以在 1961 年，从我自己的立场讲起来，在斯坦福大学的访问对我后来的工作也有很大的影响，因为它使得我走到了一个新的领域。

在 1962 年，我把以前的一个想法和它的数学基础重新分析了一下，写出了一篇文章。中间我引入了一个名词，叫做"非对角长程序"(off diagonal long range order)。我认为这是一篇非常重要的文章，我觉得这篇文章的重要性今天还没有完全发挥出来。最近发现了高温超导，所以使得我对于超导问题重新发生兴趣，证实了我当时的想法。超导理论中一个划时代的贡献，是 BCS。

不过 BCS 不是唯一的超导的机制，今天的超导机制很可能是 BCS 之外的。我现在正研究这个问题，不过还没有什么成果可以向大家报告。1962 年关于超导的这一类工作，也是一种统计力学的工作，不过跟我以前做的统计力学不完全一样。以后我就做了底下这样一件事情。既然我给了一个条件，在这个条件之下，一个运动系统就会有超流或超导的现象，这就是非对角长程序(ODLRO)。所以从 1962 年开始，我就热衷于这样一件事，即我能不能够找出来一个运动系统，一个模型。这个模型我可以严格证明它有 ODLRO。

1962 年我的文章指出了 BCS 理论之所以对的原因，就是因为他们猜出了一个波函数，而这个波函数有 ODLRO。可是这个原来的物理问题跟这个猜出来的波函数是什么关系，他们不能证明。从严格的意义讲，这个波函数不是原来模型的解。只是笼统地说："这样一个波函数是一个很好的近似解"，这是不严格的。

从 1962 年我所要做的一件事情，就是能不能找一个简化的模型，使得在这个模型里我可以严格地证明，它的基态波函数有 ODLRO。

这个问题我弄了好几年，中间跟我的弟弟杨振平合作，跟吴大峻合作。我们找出了一些模型，很多工作并没有发表，我对它们不太满意，因为这些模型都有点太牵强，使我觉得不容易跟实际发生关系。不过这一类工作搞来搞去，就把我的注意力重新吸引到贝特假定(B-A)。因为我对 B-A 有了些了解，提出模型的时候，就很自然地用到了 B-A，不同程度地用。所以 1965 年开始，我又重新注意 B-A，而且注意一个问题，用 B-A 解出来的模型有没有 ODLRO。那个时候，离我在芝加哥讨论 B-A 已经有十六七年了。

当时文章多得像牛毛一样，我跟我弟弟读的时候有些苦恼。

这个我也许可以和年轻的研究工作者谈一谈。我想你们刚走到一个领域是会很苦恼的，不过你们不要害怕，因为多半的文章都是没有什么价值的，最重要的是你得抓住问题在什么地方，然后你有自己的想法。那么你就看到多数的文章不必去看它。我刚才讲过有人在30年代写了一些关于B-A的文章，这些文章越来越复杂。一个很基本的问题，也是我在芝加哥大学不了解的，不知这些有反三角函数的方程式的解是实数还是虚数。

关于这个问题，我在芝加哥大学想了很多，笔记还有，后来都未形成结论，这个问题太复杂。60年代的某一天跟杨振平讨论时，我忽然发现一个非常简单的道理，就是在以前做的文章中，用了反余切，我们觉得这不好。把反余切换成反正切就非常好。当然，大家会想反余切和反正切是密切相关的，这简直是一个微不足道的进步。其实不然，因为反余切有些不连续的地方，这些不连续处，正是最关键的地方。如果你把它换成反正切的话，那么它在最关键的地方就没有这个困难了。所以，一引进这个，一切东西都变得非常清楚了。我们就连连写了很多的文章，指出这个B-A是非常之妙的。而且在什么情形下有一个实数的解，我们比较地有了一个控制。

我们做这个工作的时候，发现大家已经忘记贝特了。多半的人已经不再讨论贝特了，因为贝特是30年代的人，离那个时候已经30多年了。我们认为这样不对，因为其中最开始一个重要的观念是贝特引进来的，所以我们在一篇文章中特别写道，这个想法应该叫做“贝特假定”。现在这个讲法已经生根了，现在大家都叫做Bethe's Ansatz或者贝特假定。关于贝特假定，我在60年代末和60年代中期，写了许多文章。这个发展了以后，就分出了许多分支。这一类的工作，在60年代有很多，作关于贝特假定的种种应用，我听说赵保恒教授、阎沫霖教授，上个星期给你们介绍了

好多关于 B-A 的知识。

在 1967 年，我想研究一个问题，这是在一个小范围内热门的话题，即费米子 δ-函数相互作用(Fermion δ-function interaction)一维问题。我就把这个研究了一下，用了一些群论的方法，把 B-A 连用两次，把这个问题给解决了。在这个过程中，我写下来一个方程式，如果你要证明 B-A 是对的，那么这一方程具有关键的重要性。这个方程通俗地讲起来，是 ABA 等于 BAB 这样一个方程。比这个稍为复杂一点。

这个写出来以后五年，巴克斯特(Baxter)(我认为巴克斯特是昂萨格以后做精密解的第二个高人)发明了很多的方法，他为了解一些统计力学中新的模型，写出了一组方程，这一方程是在 70 年代初写出来的。在 80 年代初，法捷也夫教授和他的学生指出来，我 60 年代写的公式——就是 ABA＝BAB 那样的方程——和巴克斯特的公式一样，只是另外一种写法，所以他们把这个叫做杨—巴克斯特(Y-B)方程。

非常重要的是，苏联的学者们比我当初更进了一步，我当初指出了，因为杨—巴克斯特关系存在，所以可以用贝特假定解出许多东西，包括 S 矩阵。S 矩阵给算出来了！多体的 S 矩阵是多个两体 S 矩阵的乘积。法捷也夫他们进一步的地方在于，把这个次序倒过来了，他们说不管你什么具体的模型，只要符合杨—巴克斯特关系，就有 S 矩阵是乘积的性质，把整个的问题重新改观了。所以后来形成了好多文章，在美国也有人做。

最近两年出了一个非常重要的新的发展，还是方兴未艾的时候，就是在数学里面有一个重要的观念叫做结(Knot)理论。结理论是什么意思呢？就是你拿一根绳子来，这样子就是一个无结的结，要是打一个扣子再把它结起来，就是一个最简单的结。当然你可以打两个扣子，或者五十个。所以有无数个不同的结，拓

扑学上一个重要的问题，就是世界上有多少种结，这问题到现在还没有解决。

不过在 30 年代，有一个重要的拓扑学家亚历山大(Alexander)，他是高等研究所的教授。我想，他的年纪大概比陈省身先生大几岁，他发明了一个想法，他把结的理论跟补空间的基本群联起来，然后他就写出来了一些式子，叫做亚历山大多项式(Alexander Polynomial)。亚历山大多项式有什么重要性呢？就是你有一个结，他就可以写出一个多项式，给另一个结，他又可以写出一个多项式。他的定理是说，如果两个结可以从一个变到另一个，拓扑学的意义上是等价的，那么两个多项式一定是一样的。可是反过来不对，你可以举出这样的例子来，两个不同的结，从一个不能变到另一个，可是写出来的多项式却可以是一样的。就是说这个亚历山大多项式虽可以分辨结，可是它的分辨率不够。一直到最近一些年，这都是一个重要的没有解决的问题：还有什么别的方法来分辨吗？

两年前一件轰动数学界的事情，就是伯克利数学研究所有一位琼斯(Jones)教授，他发明出一种新的多项式，现在叫做琼斯多项式。它的分辨率和亚历山大多项式的分辨率是不一样的，把两个加起来，当然分辨率就更大了，可是还不够。换一句话说，你可以找出两个结来，可以证明这两个结是不一样的，可是它们的琼斯多项式和亚历山大多项式都一样。可是在琼斯的文章中说，这个东西和物理学中的 Potts 模型，跟杨一巴克斯特方程有关系。这个事情现在很多人在研究，一些日本人，一些苏联人，很多的美国人现在都在研究这个问题。现在大家都以为，几乎每个 Y-B 方程式的解都可以带来新的、可积的动力学的模型，这个是这几年大家已经知道的了。而且几乎这些新的解，每一个都会给出一个新的多项式，所以对结理论中分辨的能力是大大提高了。现在

这是很热门的课题。

在石溪有一位数学教授萨之汉，他是萨本栋先生的儿子，他研究这个问题并经常同我讨论，所以我想以后一个时期我们可以请萨教授，把这些数学上的新发展和它们跟 Y-B 方程的关系多讲一些，我想也许可以通过这个，在统计力学上再多了解一些新的东西。这个 Y-B 方程大概讲起来就是 $ABA=BAB$，这里 A、B 都是一些算子。这个所以跟结的理论发生关系，其实是很容易懂的。

因为结的理论可以说是辫子理论的一个分支——所谓辫子的理论，就是说譬如有几条线，你在那里编来编去，问这样的结构有多少种，这就是辫子的理论。辫子理论你去想几分钟。那么第一个问题就是给你一个辫子，要写出一个公式来，你怎么做。当然做法不唯一，不过随便你怎么做都会有一些算子，比如说左边两根对换一下叫做 A，随后两个对换一下叫 B，……如果你有 5 个辫子的话，就有 A、B、C、D 四个算子。一个辫子你把它写下来，比如说它是 A 乘上 B 再乘上 A，这就是一个辫子。这样再去想几分钟，你就自然发现了一个重要的方程式，这个方程就是 $ABA=BAB$，这其实是一个辫子的结构。所以 Y-B 方程跟辫子的理论发生关系，其实是很自然的，并不稀奇。

这件事是最近两年才注意到的，就是 YBE 与辫子理论有极密切的关系。我想跟大家谈我个人的历史已经说得很久了，假如我要有一个结论的话，这结论就是，一个年轻人，把他的眼睛，他的视角向各个地方去注意，多注意一些新发展的东西，不要整天死钻人家已经做过的东西，自己多从原始的地方着想，常常对于你自己的工作有很好的影响。(掌声)谢谢！

宁拙毋巧

——和(新加坡)潘国驹谈中国文化(1988年1月)

本文作者潘国驹、韩川元,原载新加坡《联合早报》,1988年1月17日。原标题为《宁拙毋巧——与杨振宁教授一席谈》。现标题为编者所改。

谈余光中的"中文受污染"

问: 记得杨教授曾谈起余光中(名诗人,现任台湾高雄中山大学文学院院长)在《明报月刊》1987年10月号262期中谈有关中文受污染的问题,这是很值得探讨的问题,请杨教授谈谈您的看法。

杨: 我看了余光中的文章。我的看法是这样的,他所要强调的是中国文字的结构与语法被现代很多作家由于引进了西方的语法而给打乱了,他称此为污染。我对余光中这种说法不太同意。我觉得文字是活的东西,是一个有机体,是随时要改变的。今天中国的白话文,不论是讲出来或写出来的,里头都引进了许多西方的语法,这有它历史的背景,是一个不可逆转的事实,而且从整体来说也是好的。我觉得大家无妨加以讨论,怎样使新的词与结构,用合适及美妙的方法,引进中文里去,而不是说这些就是污染。余光中觉得有一些话,用现在的方法讲,显得太啰嗦,而用

以前的方法讲则比较优美些，他讲的话不是没有道理的。我认为美是不能绝对的，我觉得在这一点上应该百花齐放，一方面承认从前的文字语法结构，写得好而简洁，是有它美的地方，如果有人要向这个方向发展，我觉得大家应该欣赏和支持。可是假如有人要向比较复杂的表达方法发展，我们也不应该反对，这不应该被认为是受污染。

对中国诗特别爱好

问：您对中国的诗歌有特别的爱好，是什么原因促使您对它发生很大的兴趣？

杨：中国的诗，由于它的语言文字在音律上的结构有许多西方的诗所不能达到的地方。因为英文诗太直接，这与上面所谈的中文西化的问题也有密切的关系。西方语言文法的结构比较准确，这有很多好处，譬如你要写法律上的文件，你当然希望越准确越好，而中国的古哲学中，有许多话到现在人们还辩论不清，这有好也有坏。如果把它当作诗或宏观的哲理，有时不准确反而好。可是，在某些情况下，准确比不准确好。我们也可以这样讲，中文的表达方式不够准确这一点，假如在写法律是一个缺点的话，写诗却是一个优点。

当我们看一首中文诗与一首英文诗时，最大的感觉是西洋诗太明显，东西都给它讲尽了，讲尽了诗意也没有了。这我想是与西方的文化传统有密切的关系。西方的文化传统很早就特别着重准确，像希腊的几何学是非常准确的，例如希腊人发现正多面体只有五个，这是非常美妙的画像，如果没有准确的几何思想是不可能想到这个定理。后来有人说欧几里得所以写了欧几里得几何，就是因为要证明这个定理。这是西方思想方向的结晶。相反的，中国的文化是比较向诗意及宏观的哲理方面去发展，如中

国的古文，你可以辩论了几千年还是没有完全弄懂。中国的医学也是从宏观的方向发展。西方的医学是脚痛医脚，头痛医头，而中国的医学则讲气，气存在于全身。总的来说，中国的文化是向模糊、朦胧及总体的方向走，而西方的文化则是向准确与具体的方向走。

中国的文化特点是否不科学?

问：中国这种文化的特点是不是比较不科学化？

杨：我觉得这并不完全对。因为科学虽然包括了具体准确的考虑，可是，它也包括了宏观的现象，如西方到19世纪时突然发现了中国的画原来是印象派，他们觉得这是了不起的。其实，中国的画从来就是印象派，因为中国的画不是从具体写生着手的。中国的哲学认为写生写来写去跟照相没有两样，这没什么意思，必须把它的意境给画出来才有意思。而这在19世纪的西方却是一个大发现，他们把它发展成印象派。当然他们受到日本画的影响，可是日本画其实也是从中国画那儿学来的。所以，这就代表两种不同文化的传统，表现在绘画的方向上也一样的不同。总体来说，西方的文化是具体的文化，比较倾向于准确、细致的研究；而中国的文化则倾向于宏观、整体的研究。这是一个相当明显的分别。这个分别，与中国虽然具有5000年的高水准文化而没有发展出近代科学来是有密切的关系。

中国诗和西洋诗的不同

问：中国京剧的表现手法是不是另一个例子？

杨：是的。京剧的动作都是象征性的，象征性的动作在很高的艺术境界上是非常重要的，所以西方人看了中国的京剧觉得非常了不起。这是西方人从前没有了解到的，可以用象征性的动

作，把许多实际的情形一笔给勾画出来，把它抽象化了，这是中国整个文化所走的方向。我觉得应该两个合起来，这与前面谈起我对余光中的意见的看法一样。我觉得中国的诗是非常美妙的，它美妙的地方，我们应该赞扬及加以保持，因为太明显的诗是乏味的。不过，非常明显的东西也有它的好处，这好处也应该发展。西方的诗就比中国的诗具体，比中国的诗长。西方的诗多数讲理，中国的诗主要是讲情。有人认为宋朝的诗比唐朝的诗多讲理，这话是对的，可是，拿来与西方的诗比较，西方的诗则更进一步。中国这类的文学形式基本上还是以抒情为主，中国诗以抒情为主确是好的。情这东西，我想不能太准确，太准确则讲不出来。中国字还有一个好处，这与中文文字的结构有关。

中文字是一个字一个音，节奏可以很清楚而准确，英文一个字有的有两个音节、三个音节，因此，不够准确。中国字有平上去入，这是西方文字里所没有的。平上去入使诗句对仗，音节铿锵，这是西方的诗里所没有的。近来，有些人发展新诗，中文新诗的发展也要比英文诗的发展容易收效，因为新诗虽然是从旧诗的规律中解放出来，可是，它可以制造新的规律，而且，比较容易制造新的规律，因为它是一个字一个音，而同时又有平上去入，如果配合得好，可以形成美妙的结构。

诺贝尔文学奖

问：为什么中国还没有一位作家获得诺贝尔文学奖？

杨：诺贝尔文学奖评委会之评选标准也许是以西方文学之技巧作为标准；而且，由于翻译技巧的问题，而使中国文学的精髓无法准确生动地表达出来，这也许是两个重要的原因。巴金我相信曾经被提名，而且一定被提名不只一次，巴金的《家》、《春》、《秋》是一部伟大的著作，对中国当时的知识分子的影响很大。巴

金的全集已被翻译成法文，我猜想评选会老是不给他的原因是觉得他的小说的结构、所用的技巧还不够现代化。

科学美与文学美

问：科学的美与文学的美，有什么差别与共同点？

杨：这问题问得很好。它是既有共同点又有不同点。为什么说它们有共同点呢？因为科学家用美来形容对于自然界之结构的感受是非常自然的一件事，不是牵强的。科学家对于自然现象觉得美，大家都点头，这就代表美这个字是一个好的形容词用来形容这个现象。这个美的意义包含了合适、妙、中看。科学当然着重于严谨与逻辑性，但是，科学不只是这些，因为科学最后需要一些规律，这些规律如果是非常合适、非常妙、使人看了非常舒服，这与文学的美或一般人所讲的美是一样的。一篇文章的美与科学上发现了一个新的规律的美，其中有共同点，当然也有不同点。

物理学者最近常常想一个问题，就是对称。自然界的现象，人类觉得它有对称，一方面是很自然的，一方面又要去追求它的准确性。希腊人对于对称很注意，所以，他们后来有一个学问，就是觉得世界一切的规律都是从对称来的，他们觉得最对称的东西是圆，所以，他们把天文学的轨道画成圆的，后来圆上加圆，这一来就发展成为希腊后来的天文学，一直到中世纪的天文学。到了Kepler，他也要用对称，可是他后来不画圆，因为圆上加圆是不行的，变成椭圆就行了。他是受了希腊人想要把东西变成极端对称的影响。

到了今天，我们发现，原来对称是重要极了，最近20世纪的物理学家发现，对称的重要性是与日俱增，这代表了希腊人的想法方向是对的，只是他们还不够准确，没有把定义弄清楚。中国

这类思想中，几何的成分非常少，中国对几何的结构没有像希腊人所创造出来的许多优点，所以希腊人能够写出几何原理来，中国的几何原理是到了 1605 年徐光启与利玛窦把它翻译出来，才有几何原理。后来康熙皇帝也对这本书发生兴趣，可是，并没有广为流传。徐光启与利玛窦翻译了六卷，后几卷是 200 多年后，由李善兰翻译完的。所以，我想中国的文化传统里头与西方比较起来，几何的不够重视是一个重要的分别，这个分别与近代科学没有在中国发展起来是有很大的关系。

东方传统文化的孝道

问：东方传统与西方传统对孝道的不同看法，是什么原因造成？

杨：我想，这是因为中国受儒家哲学的影响。儒家哲学最重要的一个基本观念是伦常，而这伦常的观念里头就是人与人的关系是绝对而永久的。这个观念如果你要骂它也可以，例如五四运动时有人骂它，共产党也有人要骂它，说这个是剥削人的人要利用它来维持他们的权益。这话不是完全没有道理的，不过，伦常的影响却远超过了剥削人这件事。例如孝道，即超过了君臣的关系，今天已经没有君臣的关系，可是，孝道的关系还是存在的，所以，它的影响不只是剥削人。

为什么儒家把伦常看成是基本思想？这我想与社会的结构有关系，人与人的关系变成比较绝对化，这个社会就会比较稳定，不容易动乱，而儒家的基本思想是要一个稳定的社会。它的结果，其一就是你所说的孝道，它把人与人的关系，把父母与子女的关系，在定义上变成绝对化，这与西方，尤其是美国的传统是不一样的。美国的文化传统可以说是个人主义的，个人与社会的关系不是不重要，但是，它最后的原则是从个人出发的。这点与东方

的文化传统是非常不一样的。这个不一样影响很大，一个在中国传统家庭长大的小孩，与一个在美国长大的小孩，其整个思维形式上是很不一样的。在最近的五六年，有许多移民到美国去的中国人，他们的孩子，有的是在中国长大的，有的是到了美国才生的，他们自己也说，这两个不同地方出生的孩子，他们的基本观念是不一样的。

母亲的影响

问：杨先生的母亲最近不幸在香港逝世，您觉得您母亲对您的为人有哪些方面的影响？

杨：我母亲与我的关系很深，因为我生下来不到 10 个月的时候，我父亲就到美国去留学。他在美国待了 5 年，在我 6 岁的时候才回来。所以，我出生以后头 6 年基本上是与母亲单独在一起，因为我是老大。我母亲是一个旧式的妇女，她不但没有受过新式的教育，也没有受过很多旧式的教育，她念过很短的私塾，不过，她的看与写中文的能力都是自学的。当我年纪渐渐长大了以后来观察与了解她，我觉得她与许许多多旧式的妇女一样，我从她们身上看到了一个共同点。这个共同点使我感受很深。

我想，她们的做人与美国人的做人态度是不一样的，她做任何事情都不是从个人出发，她的一生是从她的父母、她的丈夫、孩子来出发的，而这个观念是绝对的，她从来不怀疑应把丈夫与孩子的福利放在第一位。对于她，这是绝对的一件事。我想，人的思想如果把一件事情变成绝对化以后，就变成一种力量，从我母亲身上我看出了一些礼教的优点。这个优点是一件复杂的事，用在一个家庭或一个人身上是好的；但是，用在整个社会上就不一定是好的。不过，它是有优点的，它的优点就是因为它有力量，这个力量的来源是因为它有个信念，这个信念是绝对的，是不容置

疑的，如果你说这是愚忠，我想也不是错误的。不过，愚忠是一种力量，这个力量用在合适的地方，就可以发生很大的效用。所以，你问我母亲对我最大的影响是什么？我想就是这个。我与母亲的关系是单纯的，没有复杂的成分，因为我知道她是怎么想法的；她也知道我是怎么想法的。我在美国住了40多年，比我在中国住得久些。美国长大的孩子，选择很多，没有什么东西是绝对的。这有好处也有坏处，这坏处便是不知道如何选择法，反而使事情变得复杂化。复杂化后可以变成悲剧，这有很多的例子。

《红楼梦》是了不起的著作

在访谈的话题中，杨先生也谈起他对中国的经典著作《红楼梦》及鲁迅的文学作品的看法。他认为《红楼梦》是一部了不起的著作，它细致而巧妙地把那么多错综复杂的人际关系与家庭纠纷安排得无懈可击，让人物的性格在字里行间及人与人互相交往中表露无遗，栩栩如生。西方一般的读者，因为对中国的文化传统、历史背景及封建式家庭的伦理关系不甚了解，所以，没有办法从中体会小说中所要表达的意思。可是有一位英国的红学专家对《红楼梦》中的人物名字的由来，考究得非常深入、细致。现在研究《红楼梦》已发展成为一科专门的学问。

鲁迅、余光中、中国画

杨先生也非常推崇鲁迅。他认为鲁迅的散文是尖锐的，一针见血的，他的小说也是一样，都是很短的，对旧社会的解剖很透彻。杨先生对中国画如何吸收西洋画之表现技巧也有他个人的看法。他觉得中国画长期以来比较局限于传统的绘画技巧与风格，如果要朝向世界画坛发展，也许要吸收西方的绘画技巧与风格，融汇在中国画中，才能闯出一条新的路来。现在中国有许多

画家，尤其是年轻的画家，正开始朝向这个方向发展，也许有一天会成功。对于现代的诗人，杨教授特别欣赏余光中，他觉得余光中的诗既简炼又优美。对于中国的伤痕文学与台湾的乡土文学，他觉得都不错，因为他们热爱土地，说真话，反映现实。

杨振宁是性情中人

杨教授是位世界著名的科学家，他不但知识渊博，学贯中西，而且还是位性情中人，与杨教授谈话令人如沐春风、无拘无束、海阔天空。杨教授常常用“我想”、“我觉得”、“也许”、“我的看法不一定对”、“我对这个问题没有特别的研究”等等词语，其实这是他的谦逊之词，由此也可以看出杨教授的为人，从杨教授身上，我们很容易找到一个被人们尊敬的人所应具有的品格。杨教授就是一位很好的榜样。

21 世纪的中国靠你们来建设(1988)

本文是作者于 1988 年 9 月 9 日在南开大学 1988 级新生开学典礼上的讲话，由《杨振宁演讲集》主编根据录音整理。原载《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989 年，亦见《南开周报》1988 年第 314 期或 1988 年 9 月 12 日《天津时报》。

各位同学，今天这个典礼是为你们开的，这是你们人生旅途中跨过一个新的里程碑的时刻。我很高兴有机会参加这个典礼。我想到整整半个世纪以前，在 1938 年，在昆明，在一个 10 月的一天，我也曾经参加过一个类似今天的典礼，那是我人生旅途中的一个重要的里程碑。

1938 年到 1942 年，我在西南联大念了 4 年书，那个时候是在昆明；然后又在 1942 年到 1944 年，在西南联大研究院念了 2 年书，得了硕士学位。回想在西南联大的情形，我有非常亲切的感觉，而且非常感谢我有那样接受良好教育的机会。刚才母国光校长说，1938 年，即抗战开始一年以后，南开与清华、北大在昆明合并成立了国立西南联合大学。这个大学的规模远比南开大学小，那时全校的学生只有 1000 多人。我们的校舍是非常简陋的，现在还有相片呢，可以看见，宿舍是茅草房子，没有楼房。教室的屋顶是铁皮的，下雨时，叮叮哨哨的声音不停。教室和宿舍的地

面是坑坑洼洼的土地，一个宿舍有40个人，就是20张上下铺。饭厅里面，没有椅子，没有板凳。那个时候没有什么菜吃，而米饭里面至少有十分之一是沙子。除了这许多困难以外，还有不断的空袭，日本的飞机常常来轰炸，所以有一段时间，我们上课是从早晨7点到10点，因为差不多10点的时候，空袭警报就要来了，然后下午再从3点钟上课到7点。在这样一个困难的情形之下，西南联大造就了非常多的人才。今天国际上，非常出色的第一流的学者中，有科学方面的，有工程方面的，有文史方面的，很多是联大当时造就出来的。联大前后只有8年的时间，所以毕业的学生人数不过3000人。这3000毕业生为世界作出的贡献，是一个惊人的成就，所以我深深地觉得，一个学校最重要的是它的学生素质，而不是它的设备。(我讲这句话，并不是说设备不重要。)我曾再三讲过，我一生非常幸运的是在西南联大念过书，因为西南联大的教育传统是非常好的，这个传统在我身上发挥了最好的作用。

文化传统是一个非常复杂的事情，是一个多方面的事情。刚才范曾教授讲了，但他没有明确提出来，我相信他讲的是最近引起争论的电视片《河殇》。前两天我与范曾教授曾经谈过《河殇》，范曾教授对这个电视片的看法，跟我不谋而合。中国的文化传统是世界最悠久的文化传统之一，中国的文化传统是世界唯一的，在同一地区，从古时候一直延续到今天的传统。中国的文化传统西方人非常羡慕，为什么呢？因为它里面有非常良好的部分，教育传统就是其中之一。当然任何一个复杂的事情，任何一个几千年的传统，任何一个几亿人的历史背景，不可能纯粹是好的，其中有许多复杂的成分，对此是要讨论的。从这点讲起来，我个人觉得，《河殇》这个电视片作了一个贡献，它可以激发大家去思考，激发大家去研究，激发大家去反思。可是这个电视片里讨论了一些

象征性的问题。大家知道，所有象征性的问题都是非常复杂的。这个电视片里特别提出了三个象征，都是中国传统的象征，是中国历史的象征，是中国民族的象征：一个是龙传统或龙的神化；一个是长城；一个是黄河。我想全世界都承认这三者是中国传统的象征。在这个电视片里，我最不能接受的是，把这三个传统都批评得一无是处。这个电视片认为，如果不把这种传统抛弃掉的话，中国就没有希望，我认为这是一个大错。我觉得去看一看这个电视片是好的，我们应该感谢这个电视片的编导，把这个电视片给大家看看，可以使大家想一想，到底中国传统有什么好的地方，有什么不好的地方，我认为，中国传统是非常优秀的，要靠你们去发扬，去保护，去利用。

今天在这个体育馆里，开这个会，我能参加感到很高兴。另外一个令人高兴的地方，就是觉得这么困难的经济情况之下，中国的政府，天津市，南开大学，盖了这样一个很像样子的体育馆。我是美国纽约州立大学石溪分校的教授，我们的毕业典礼也常常在体育馆里开，那个体育馆比这个体育馆讲究一点，不过差不多。这个体育馆是国家为你们前途的投资，我希望你们随时不要忘记这一点。

20 世纪是一个突飞猛进的世纪，是一个全世界的文化发展得非常快的世纪，是一个工业、商业迅速发展的世纪。所有的人都认为，21 世纪的发展步子要比 20 世纪快，这些发展将要基于知识，没有知识的社会，在 21 世纪是不能继续生存下去的。你们有机会到南开大学来，可以吸收中国良好的教育传统，这里许多系的教师，我都接触过。我在美国许多年，在大学里面教书，很清楚美国大学的情形，我知道，这边大学的教师教学认真程度比美国的大学教师好，这边大学的教师水准，也绝对可以比得上美国绝大多数的大学。我希望你们不要把这点忘记。

中国是一个很大的国家，有很多的矿产，有很多的水利资源，有种种的财富，这一点是全世界都公认的。中国年轻人有非常聪明的，有非常有决心、有毅力、有才智的人。21 世纪的中国是建筑在这些人的身上的。我希望你们努力学习，当你们到我这般年纪的时候，回顾一下今天，也会跟我一样，非常感谢在大学的 4 年光阴。谢谢。

在统计力学领域中的历程(1988)

原载 Chen Ning Yang, Journey Through Statistical Mechanics. 中译文载《杨振宁谈科学发展》,八方文化企业公司,1992 年。译者张美曼。转载时对译文略作修正。

第一次接触统计力学时,我还是昆明西南联大的学生,是在战争期间。那时王竹溪教授刚从英国的剑桥大学回国。在剑桥他是福勒(R. H. Fowler)的学生,他的论文是讨论相变,在那时这是一个热门的题目,今天,这个题目仍然很热门。

在 30 年代中叶,人们对相变已经抱有极大的兴趣。兴趣主要是由冶金学引起的,人们发现合金的比热、作为温度的函数,表现了有特点的峰状。具体地,例如人们发现 β 型—黄铜或紫铜—锌合金的比热,作为温度的函数,有非常尖锐的峰。在那时有关这个现象的占支配地位的思想可以用平均场理论来描述。最有名的平均场理论是布拉格(Sir Lawrence Bragg)和威廉斯(Williams)理论。布拉格和威廉斯都是英国人,英国人在这个研究领域很活跃。正因为这个原因,王竹溪教授及他同时代的张宗燧教授在剑桥做他们在这个领域里工作的博士论文。(我想听众中的许多人知道张宗燧,这位非常卓越的物理学家。)

但是很快地,这一点变得很清楚,即平均场理论在物理思想上很丰富,但在数学严格性上有缺陷。在那时,约瑟夫·迈耶

(Joseph Mayer)是哥伦比亚的一位年轻研究者，他探索了这个问题，并发展了一套理论，这个理论后来被称为迈耶凝结理论。这个理论在物理学界引起了极大的兴奋。1937 年在荷兰举行的一个国际会议上，对迈耶理论是否是一个正确的理论进行了辩论。

在 19 世纪的热力学的相变思想的基础上，人们普遍相信，在这样一个跃迁中，例如蒸汽—液态的跃迁中，存在蒸汽相的热力学函数和液态相的热力学函数。蒸汽和液态是不同的动力学系统，应当分别处理。迈耶的出发点是与此不同的，他只有一个动力学系统，从它得到两个相的结果。物理上，它与热力学的直观感觉相抵触。数学上，它与这样的观念相抵触，即一个配分函数不能得出两个不同的热力学。关于 1937 年会议上的讨论，后来玻恩和富契(Klaus Fuchs)写道：

> 迈耶理论……用分子的分布处理所有可能的分子排列，就像只存在一个相。气体分子怎么能知道什么时候它们必须去凝结成液态或固态？(*Proc. Roy. Soc.*, London A166, 391 [1938])

我是在下面的情形下知道迈耶理论的，在 1937 年会议后不久，玻恩和富契、卡恩(B. Kahn)和乌伦拜克(G. E. Uhlenbeck)写了著名的文章去分析迈耶的理论的正确或不正确。大约 1940 年或 1941 年，有关这些文章，王竹溪教授做了一系列讲座，我作为大学生，聆听了这些讲座。在那时，它是超出我的知识水平的，然而出席这些讲座对我后来的经历有决定性的影响，因为通过这些讲座，我知道了相变理论的重要性。

在 1945 年，我去了美国，成为芝加哥大学的研究生。在芝加哥大学，没有人真正对相变理论有浓厚的兴趣，包括迈耶本人在内。但是由于我早年在中国形成的对相变问题的强烈爱好，我作

了种种努力去进入这个领域。

一个努力是去学懂昂萨格(Lars Onsager)1944年的文章。这篇文章漂亮地、出人意料地解决了二维Ising模型。这篇文章很难读懂,因为文章中没有叙述求解的战略思想,它仅仅详细地叙述了一步步的步骤,读这篇文章,我感到被牵着鼻子转圈,直到这个解突然掉出来。这是一个失败的使人沮丧的经历,然而回想起来,这个努力没有白费,完全没有白费,在后面,我们可以看到这一点。

另一个努力是去了解铁磁性。我从布洛赫(F. Bloch)有关自旋波的重要文章开始。这篇文章导致了1931年贝特的文章,即现在大家知道的贝特假说。赫尔谈(L. Hulthen)1938年的文章发展了贝特的方法,贝特和赫尔谈文章的结果是超越方程,我从侧面去寻找这些方程的复解,结果完全搞糊涂了。这又是一次失败的经历,但是回忆起来,这个努力仍然没有白费。

在芝加哥,我主要的研究方向是粒子物理。1949年秋天我去了普林斯顿高等学术研究所,在那儿我待了17年,1949—1966年。在1949—1950年间,在这个研究所里没有人研究统计力学。但是很偶然地,有一天在从普林斯顿中心的派默广场开往研究所的班车上,在大概15分钟的车程中,路丁格(J. M. Luttinger),一位研究所的博士后研究员,向我叙述了考夫曼(Bruria Kaufman)的文章。这篇文章极大程度地简化了昂萨格方法的代数,对整个思想给出了一个清晰的简单的战略方针。由于我对昂萨格的战略很熟悉,我很快地领会了这个新观点。在到达研究所后,我得出了基本的步骤,并且非常高兴最后完全理解了昂萨格方法①。

几个月后,在完成了粒子物理方面的一些题目后,我回到昂萨格解上,并且认识到从昂萨格的方法出发,可以得到更多的解。1951年1月我开始在这个领域里认真地工作,之后发生的事我

曾在1982年叙述道:[2]

> 于是我做了漫长的计算,这是我的经历中最长的计算。整个过程充满了局部的战术上的技巧,计算进行得迂回曲折,有许多障碍,但总是在几天后设法找到一个新的技巧,指出了一条新的途径。麻烦的是,我很快感到像进入了迷宫,并且不能肯定在经过了这么多曲折之后,是否确实在某种程度上比开始时靠近目标。这种战略上的总的估价非常令人沮丧,有几次我几乎要放弃了,但每一次总有某种事情又把我拉回来,通常是一个新的战术上的技巧使情况变得有希望,即使仅仅是局部的。最后,经过六个月断断续续的工作,所有的部分突然都相互一致,导致了奇迹般的相消,我瞪眼看着令人惊奇的简单的最后结果。……

这个结果是Ising模型的自发磁化,这是我在严格的统计力学方面的第一个工作。所以在芝加哥的努力没有白费,它们为我能迅速吸收路丁格向我解释的事作了准备。

一年后,我建议张承修(C. H. Chang)将我的计算推广到矩形格点,他的文章[3]的内容,可能是关于临界指数普适性的最早的考虑。

在1951年秋天李政道来到研究所,他和我在芝加哥是亲密的朋友[4]。他在芝加哥得到博士学位后在伯克利(Berkeley)待了一年(1950—1951),在那儿他不愉快,所以我建议奥本海默(J. R. Oppenheimer),研究所的所长,邀请他来研究所当博士后研究员。在他到达后我们开始进行下一个当然的题目,计算Ising模型的磁化率。为计算磁化我用了一次微扰,为计算磁化率我们要用二次微扰,不幸的是,在二次微扰中导出一个公式,计算这个公式与计算一次微扰中相应的公式相比,在难度上高一个数量级。在几个星期的奋斗后我们放弃了这个问题,把我们的注意力放到

格点气体上，它在数学上与 Ising 模型一样。具体地，在格点气体的 P-V 图上，昂萨格的解和我们的结果一起，能表现为一个二相区域的严格分界线。在二相区域等温线是平坦的，在液相和气相等温线变得弯曲，但是为什么迈耶理论使等温线在进入液态时保持平坦？沿着这个问题追究下去，我们引入了零分配函数的概念，用这个概念，极大地澄清了与相变现象有关的结果，在这个研究中最优美的一步是单位圆定理，我把这个定理“喜欢地认为……是佳作”[5]。

回忆起来，在中国去听王竹溪教授的演讲为我在相变方面的工作作了准备，我猜想大多数的研究者有相似的经历，在大学和研究生的年代里接受影响的事，容易成为后来的生活中去从事的事。

在 1952—1953 年，阿姆斯特丹的德波尔（de Boer）到研究所访问，他对液氦理论有重要的贡献。我请他就这个题目给一系列的讲演，并对液氦超流性这魅人的现象产生了浓厚的兴趣，特别是，我想去了解玻色—爱因斯坦（Bose-Einstein）凝结和超流性之间的关系。在那时，这个努力没有得出有用的结果，但几年之后，当黄克孙（Kerson Huang）1955 年来到研究所，将费米和勃来特（Breit）的赝位势方法介绍给我，我在液氦方面的兴趣重新被激起。黄克孙、路丁格和后来李政道与我在 1955—1959 年期间的合作，对玻色（S. N. Bose）系统的性质作了一些探索。

1961 年 4 月，我出发去斯坦福大学，在那儿访问了几个月。那时费尔班克（W. M. Fairbank）[和第弗尔（B. S. Deaver）]正开始在超导环上做磁通量量子化的实验，当我访问他的实验室时，他提的第一个问题是，如果他们确实在超导圈里发现了通量量子化，这会是一个新的物理原理吗？（电磁场的一个新性质）或者是已知物理原理的结果吗？他提出这个问题是因为昂萨格和伦敦

的关于通量量子化早年的提议中，在这一点上很含糊[⑥]。我考虑了费尔班克的问题。和伯厄斯(Nina Byers)一起分析在有磁场的情况下超导的自由能。当第弗尔和费尔班克的实验成功地得到结果时，伯厄斯和我也得出了结论，即他们的漂亮结果没有表现出电磁场的新的性质，但是与通常的量子统计力学一致。这是大家对通量量子化第一次真正的了解。

这个工作引导我试图去了解 BCS 理论及库珀对理论的准确涵义，换句话说，我想去了解费米对的玻色凝结的确切涵义，它是超导现象的基本解释。这项研究的结果题为《非对角长程序及液氦和超导体的量子相》，是我很喜欢的一篇文章。

我在统计力学方面下一阶段的工作是以寻找表现出非对角长程序的动力学的系统为起点。这个努力不怎么成功，但是我回到在芝加哥我曾研究过的贝特—赫尔谈的工作上，和我的弟弟杨振平一起，发现在芝加哥曾失败的超越方程里极困难的一步，复解问题，能够通过一个简单的技巧避开：用 $\frac{\pi}{2}-\tan^{-1}f$ 替代 $\cot^{-1}f$！这个简单的技巧[⑦]使我们能够运用连续的变量去求解并达到数学上的系统化。这件事又一次地证明了我在芝加哥的努力不是白费的，虽然在那时看起来似乎是白费力气。

贝特在他 1931 年文章中采用的假设比原来用的假设有更广泛的适用性，杨振平和我在我们 1966 年的一系列文章中决定接受贝特的见解，称他的假设为“贝特假定”。

能够从贝特假定着手的问题中的一个，是玻色子的一维 δ 函数问题，这个问题在 1963—1964 年间已经被李勃(Lieb)、林尼杰(Liniger)和麦克瓜谔(McGuire)解决。为了去解决相应的费米子问题，在 1967 年我抓住了更一般的波尔兹曼情况，并且证明了，即使对这非常一般性的问题，贝特假定仍然有效，其关键的一

点是贝特假定引导出一组矩阵，而此矩阵 Y_{ij}^{ab}满足：

$$Y_{jk}^{ab}Y_{ik}^{bc}Y_{ij}^{ab}=Y_{ij}^{bc}Y_{ik}^{ab}Y_{jk}^{bc}$$

在1972年巴克斯特(R.J.Baxter)从统计力学中的一个完全不同的问题中得到一组同样的方程，从此这组方程被命名为杨—巴克斯特方程。近年来，许多数学家和物理学家研究了这些方程的解和它们的应用，在这些工作中一个特别重要的工作是琼斯(Jones)和其他人利用杨—巴克斯特方程和辫子群基本方程的相似点：

$$ABA=BAB$$

在绳结理论中得到新的不变量。杨—巴克斯特方程的这一应用和其他应用，似乎表明这些三次方程包含了一些基本结构，它们仍然有待探索研究。

注：

① C.N.Yang, *Selected Papers 1945—1980 With Commentary*(以下简称 *SP*), p.12(Freeman, 1983).

② *SP*, p.12.

③ C.H.Chang, *Phys. Rev*. 88(1952)1422.

④ *SP*, p.7, pp.53—54.

⑤ *SP*, p.15.

⑥ 杨振宁在庆祝费尔班克65岁生日的1982年会议上的讲演指出，伦敦的论点如果正确，将导致这样一个结果，即所有的通量是量子化的，并与超导性无关；这当然是不正确的。昂萨格似乎相信通量量子化，如果发现，它在某种意义上是电磁学的性质，像狄拉克磁单极(它与超导性无关)。

⑦ 更详细的请阅 *Phys. Rev*. 150(1966)321，注解13。

对称和物理学

本文原载 The Klein Memorial Lectures, Vol. 1, edited by G. Ekspong (World Scientific, 1991). 中译文载《二十一世纪》双月刊，1991年8月第6期，中国文化研究所，香港中文大学。译者李醒民。

早期阶段

对称概念像人类文明一样古老。它是如何诞生，也许是一个永恒的秘密。但是，生物世界和物理世界中的令人惊奇的对称结构，必定给先民们留下了深刻的印象。人体的左右对称也不会不激起先民们的创造天性。很容易想象，越过这一早期阶段，对称概念被抽象出来了，起初也许下意识地，后来便以比较明确的形式抽象出来。随着文明的发展，对称逐渐蔓延到人类活动的各个领域：绘画、雕塑、音乐、建筑、文学等等。被称为觚的青铜器皿，铸于距今约3200年的中国商代，它的雅致的外形揭示出艺术家对对称形式之美已有周密的理解。图1展示的是宋代大诗人苏东坡(1036—1101)写的一首诗，它由八个竖行组成，每行七字，这是标准的中国诗的形式。这首诗应竖直向下读，从右边第一行开始，接着读第二行，依次类推。但是，它也能够倒着读，从最后一行(第八行)底部向上读，接着按同样的方式读第七行，如此等等。

用这两种方式读来诗都很美，都具有正确的音步和恰当的韵脚。

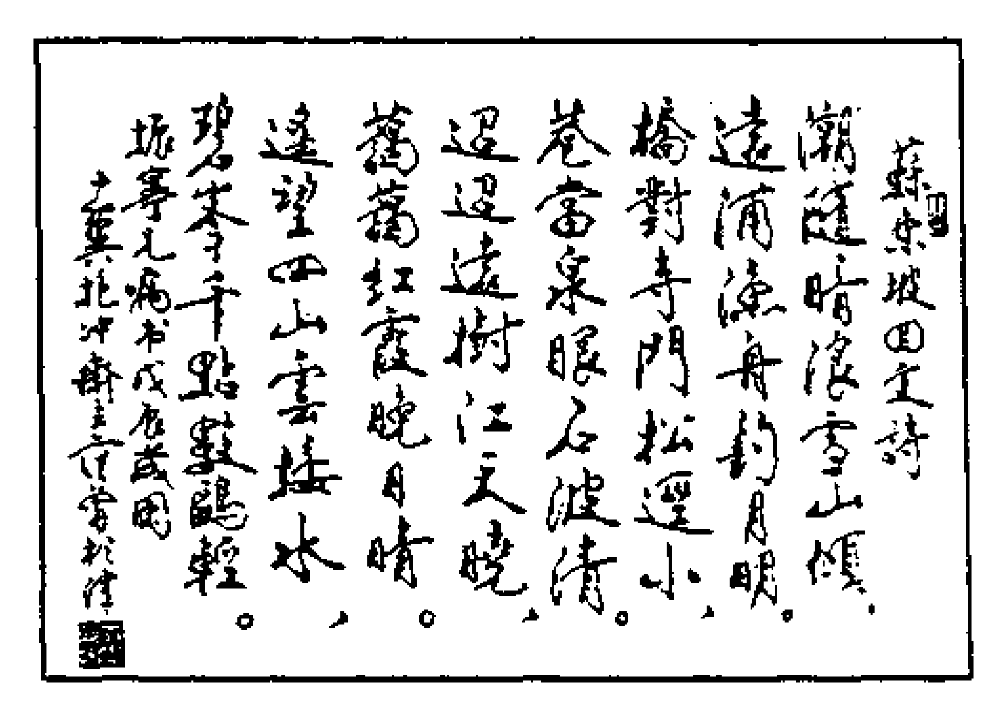


图 1 苏东坡的回文诗。这首诗既能倒读也能顺读。
（作者感谢书法家范曾先生。）

图 2 是巴赫(J.S. Bach, 1685—1750)的“Crab 轮唱曲”，它是一个小提琴二重奏，其中每个小提琴的乐谱是另一小提琴乐谱的时间反转的演奏。我们很难判断，苏东坡的诗或巴赫的乐曲二者之中哪一个更难创作。可以肯定的是，二者都起因于艺术家对于对称概念的感染力的深刻鉴赏。

对称概念最早进入科学，也许可以上溯到古希腊的数学家和哲学家。众所周知，希腊人发现了五种规则立体，它们是高度对称的(图 3)。这使某些权威认为，欧几里得(Euclid，约纪元前 300 年)汇编《几何原本》实际上就是为了证明这五种规则立体是仅有的规则立体。尽管这一理论可能不正确，但是我们的确知道，希腊人因这个发现，以致于把宇宙结构的基本元素与这五种对称的立体联系起来。以下我们将提到开普勒(J. Kepler, 1571—1630)

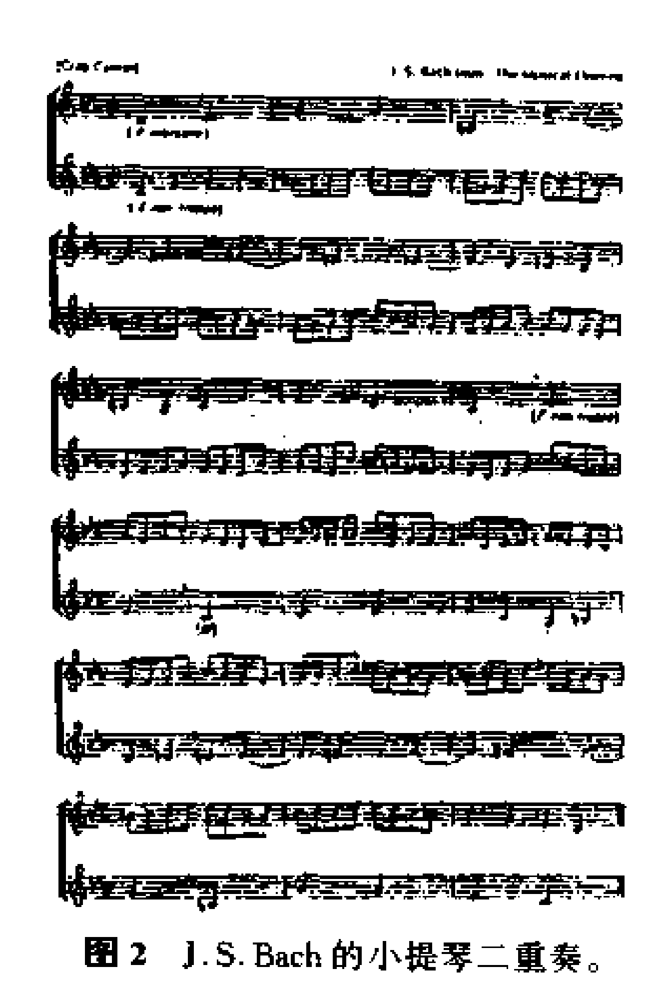


图 2　J.S. Bach 的小提琴二重奏。

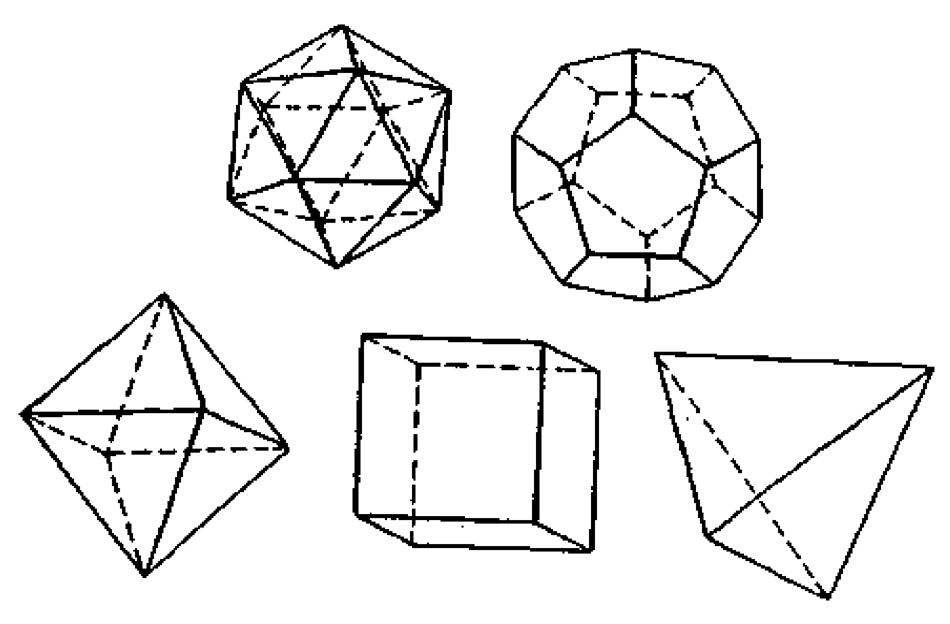


图 3　具有最大对称的五种规则立体。

在近代科学时代的开始怎样想把这些规则立体与行星的运行轨道联系起来。

希腊人对对称概念是如此着魔入迷，以致他们用"球之和谐"与"圆之教条"的观念为主导思想。按照这种观念，天体必须遵守最对称的法则，而圆和球是最对称的形式。然而，天体并非作简单的圆运动。于是，他们力图使天体的运动符合在圆运动上叠加的圆运动。当这样想法没有奏效时，他们又使叠加在圆运动上的圆运动，再一次叠加在圆运动上，如此等等。

"球之和谐"至少阻碍了天文学的进步1500年。不过，这种观念的影响并不是完全消极的。当开普勒开始天文学家的生涯时，他继承了希腊人对于对称形式的迷恋，并力求发展一种基于五种规则立体的行星轨道之直径比的理论(图4)。他已对哥白尼(N. Copernicus, 1473—1543)的日心体系深信不疑。当时已知有六个行星：土星、木星、火星、地球、金星和水星。开普勒设想土

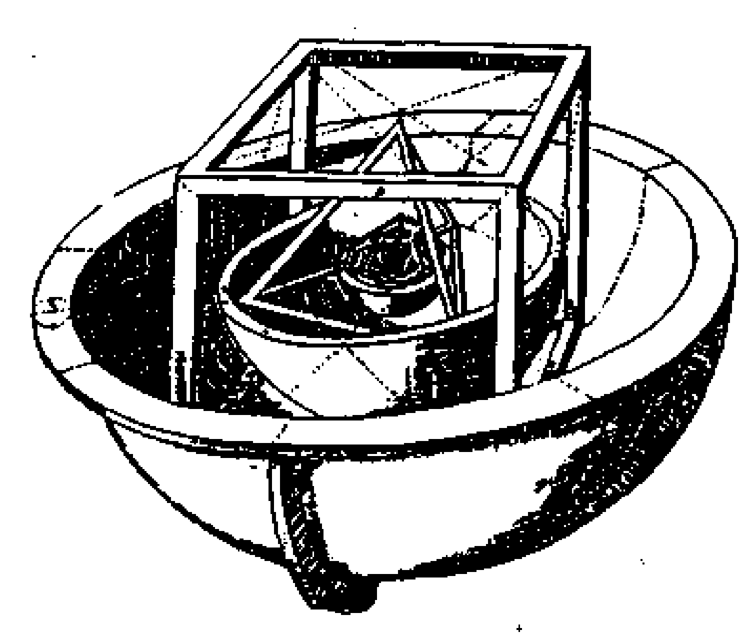


图4　开普勒的构想。

星是用一个大球描绘的，其中内接着他构造的一个正立方体。在

这个立方体内，且内切于立方体，他设置了另一个球描绘木星，在该球中内接着他构造了一个正四面体。在这个正四面体内，且内切于正四面体，他设置了下一个球描绘火星，依次类推。五种规则立体就这样提供了六个球之间的内插物。他接着计算这些球的直径之比，并把它们与观察到的六个行星轨道直径之比进行比较。这个步骤取决于五种立体——立方体、四面体、十二面体、二十面体、八面体——的次序。这种次序共有120种排列可能。开普勒一一试验了它们，发现图4所示意的次序最接近天文学数据。

当然，开普勒的理论是完全错误的：我们今天知道，在他的六个行星之外还有其他行星，而只有五种规则立体可用于内插。但是，按照他自己的看法，他后来发现的著名的开普勒三定律，却是受到这早期的努力促动的。而大家都知道，开普勒三定律本身是牛顿(I. Newton, 1642—1727)后来建立近代物理学整个大厦的基础。

我们也应该强调，尽管开普勒在图4所表现的想法是错误的，但是他的探究方法却完全与当今基本粒子物理学中所使用的一种方法相似：为了解释物理学中某些观察到的规则性，理论家力图使它们与起因于对称观念的数学规则性相匹配。如果有几种匹配方式，理论家便一个接一个地试验它们。这种努力通常是失败的。但是，有时候在所使用的对称意义或对称类型中，发现了新颖的方面，从而取得进步。偶尔，这一进步竟能导致基本物理中意义深远的新概念的进展。

19世纪：群和晶体学

在19世纪，一个重要数学观念逐渐形成，它后来成为数学中最深刻的概念之一。这就是群的观念。虽然有些数学家早已有

群的概念，却是伽罗瓦(E. Galois, 1811—1832)在1830年以其对五次多项式方程不可解性的出色解决，显示了这一概念的威力。因此，人们一般都说伽罗瓦首创了群的概念。该概念在19世纪后期获得了广泛的发展。在19世纪80年代，索菲斯·李(Sophus Lie, 1842—1899)推广了群的思想，创造了连续群或李群理论。群和连续群的概念是对称概念的最好数学表示。

在物理学方面，晶体学是一个重要的研究领域。按晶类把晶体分门别类是很自然的，同一晶类的晶体具有许多相同力学特性、热特性和电特性。晶类与数学的群论的关系并不是一个显而易见的思想，是经过了数十年的发展，才终于在1890年左右达到了晶体学家费多洛夫(Fedorov)以及数学家申费里斯(Schonflies)和巴娄(Barlow)的结论：每一个晶类都与一个空间群联系在一起，在三维中恰恰有230个不同的空间群。因此，存在着230个不同的晶类。

要详细描述这一极其漂亮的、十分有用的发展，要用太多的篇幅。不过，我们可以阐明一下在二维中的同一数学问题的精神。图5a表示一个简单的正方形格子，我们想象它向四面无限延展。它具有许多对称：如果把图形向右移一个单位，或向上移三个单位，或向下移一个单位接着向左移两个单位等等，该格子依然保持不变。这些位移或它们的组合，我们称为格子的对称元素。还有其他的对称元素：绕一个角旋转90°或180°等，绕任何正方形的中心旋转90°或180°等，这一切使得格子依然是不变的。这些元素也是对称元素。人们也能够相对于任一垂直线或任一水平线反射格子，或者相对于两个垂直线之间的中线反射格子。所有这些元素也都是对称元素。此外，如果人们相对于通过许多格子点的45°线反射格子，那么也能得到对称元素。这一切对称元素在一起构成一个群，即二维空间群。我们说，图5a属于

这个空间群，反之亦然。

现在，让我们转向图 5b 中的格子。这个延展到无穷的格子也具有对称元素。事实上，格子(a)的所有不包括反射的对称元素也是格子(b)的对称元素，这一点容易通过检验来证实。可是，任何反射却不会使格子(b)保持不变，因为反射总是把字母 d 翻转到字母 b，而 b 在格子(b)中是找不到的。因此，反射不是格子(b)的对称元素。这样一来，我们证明了格子(b)的空间群不同于而且小于格子(a)的空间群。

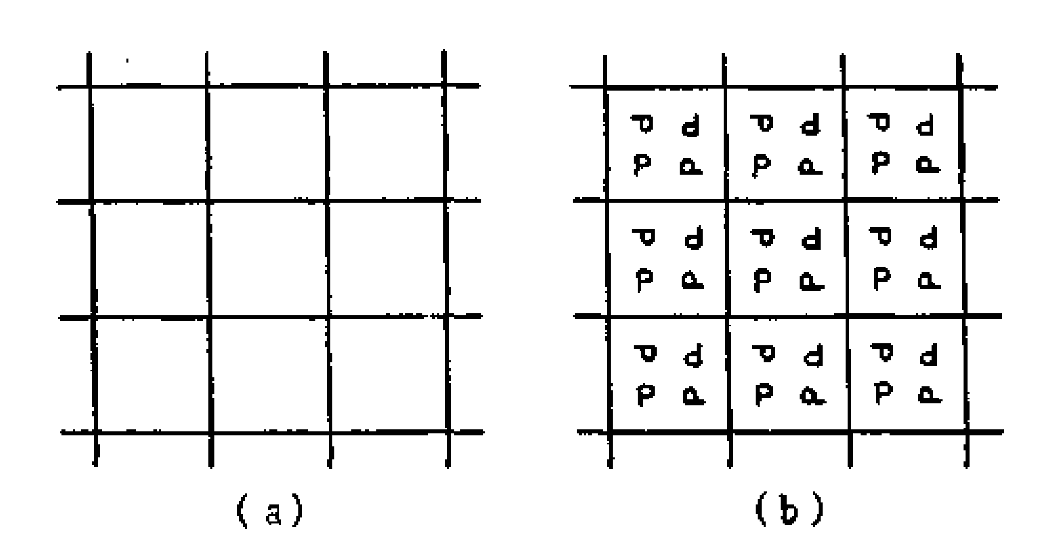


图 5　(a)简单的正方形格子，(b)用字母 d 装饰的简单的正方形格子。

图 6 展示了 17 个不同的图样，其中每一个我们都想象延展到无穷。它们形成像浴室中的瓷砖那样的图样。每一个图样都有它自己的空间群。第三排中心的图样与图 5 的格子(a)具有相同的空间群。它的右边的图样与图 5 的格子(b)具有相同的空间群。容易证实，属于这 17 个图样的 17 个不同的空间群都是不同的。这 17 个空间群是在二维中仅有的空间群，这一点可以证明，但并非轻而易举，是早先提到的定理——在三维中有 230 个空间群——的推广。(在历史上，三维中的问题首先被解决。推广到

二维中的比较容易的问题是后来解决的，这暴露了这些研究的物理实用起源。)

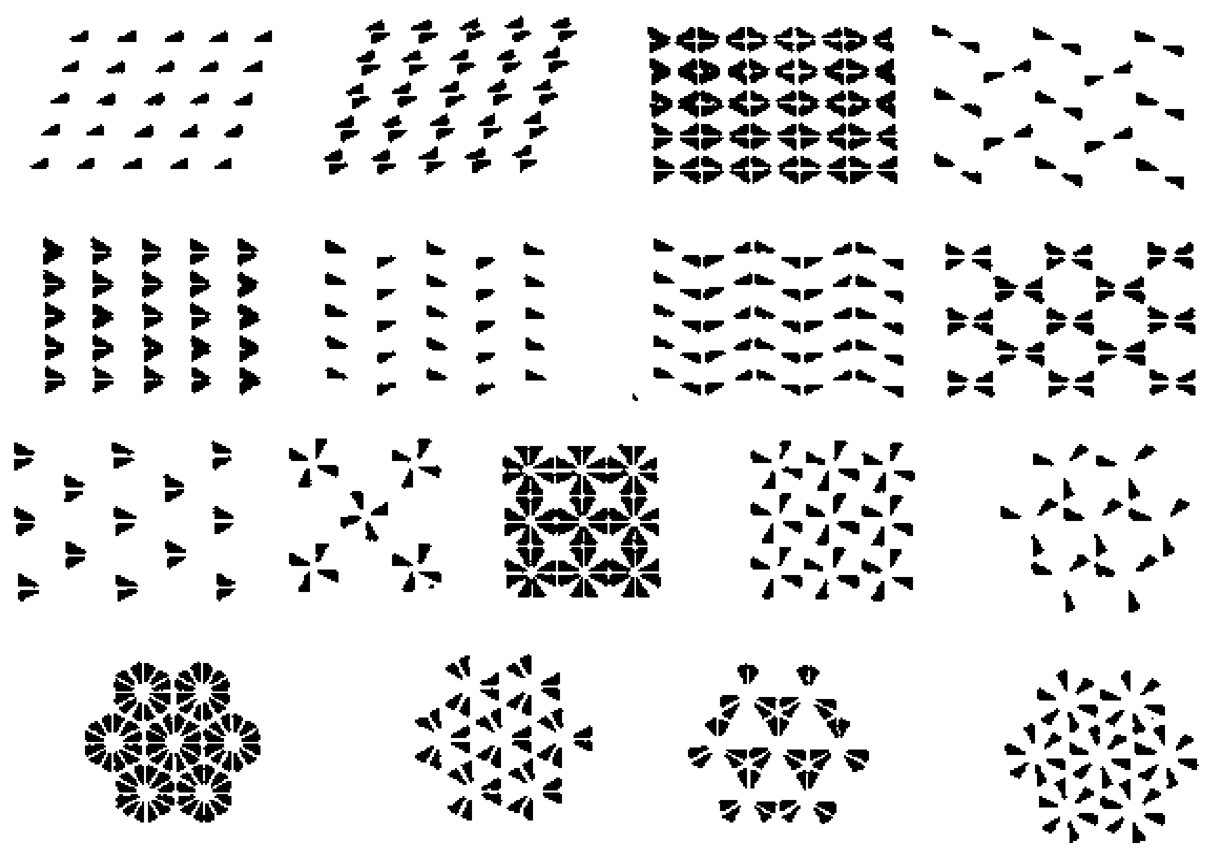


图 6　17 个不同的二维图样。

应用群论分析晶体学中的对称概念，是向物理学家提供抽象数学群概念的美妙和威力的第一个例证。另外的例子在 20 世纪接踵而至，它们以深刻的方式影响了基本物理学发展的进程，我们紧接着将略述这一切。

20 世纪：扩大了对称的作用

当爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)在 1905 年创立狭义相对论时，他也为空间和时间在抽象的数学涵义上是对称的这一概念铺设了道路。多年之后，1982 年在意大利埃利启(Erice)的谈

话中，狄拉克(P.A.M.Dirac,1902—1984)问我，什么是爱因斯坦对物理学的最重要贡献。我回答说："1916 年的广义相对论。"狄拉克说："那是重要的，但不像他引入的时空对称的概念那么重要。"狄拉克的意思是，尽管广义相对论是异常深刻的和有独创性的，但是空间和时间的对称对以后的发展有更大的影响。的确，与人类的原始感受如此抵触的时空对称，今天已与物理学的基本观念紧密地结合在一起了。这个对称叫作洛伦兹对称，是当时物理大师荷兰物理学家洛伦兹(H.A.Lorentz,1853—1928)所发现的，可是洛伦兹并没有了解此对称的物理意义，而是年轻的尚未出名的爱因斯坦提出了革命性的物理涵义以后，此对称才被写入物理史册。

与对称有关的另一个重要进展是，在本世纪头 20 年人们逐渐意识到，守恒律与对称有联系。当然，从牛顿时代以来，守恒律已是人所共知的了。但是，到了 20 世纪人们才认识到，动量守恒与物理定律的位移不变性(即位移对称性)相关联。角动量守恒也与物理定律的转动对称性相关联。

在本世纪初之前的 200 年间，守恒律和对称之间的关系未被人们发现，其原因何在呢？答案在于下述事实：在古典物理学中，这种关系尽管存在着，但不十分有用。当量子力学在 1925—1927 年间发展时，这种关系的重要性才实际上显露出来。在量子力学中，动力学系统的态是用指明态的对称性质的量子数标记的。与量子数一起，还出现了选择定则，它支配着在态之间跃迁时量子数的变化。量子数和选择定则是在量子力学之前通过经验发现的，可是它们的意义只是在量子力学发展后借助于对称才变得一目了然的(图 7)。于是在 1925 年后，对称才开始渗入到原子物理学的语言中。后来，随着物理学家深入研究核现象和基本粒子现象，对称也渗入这些物理学新领域的语言中。

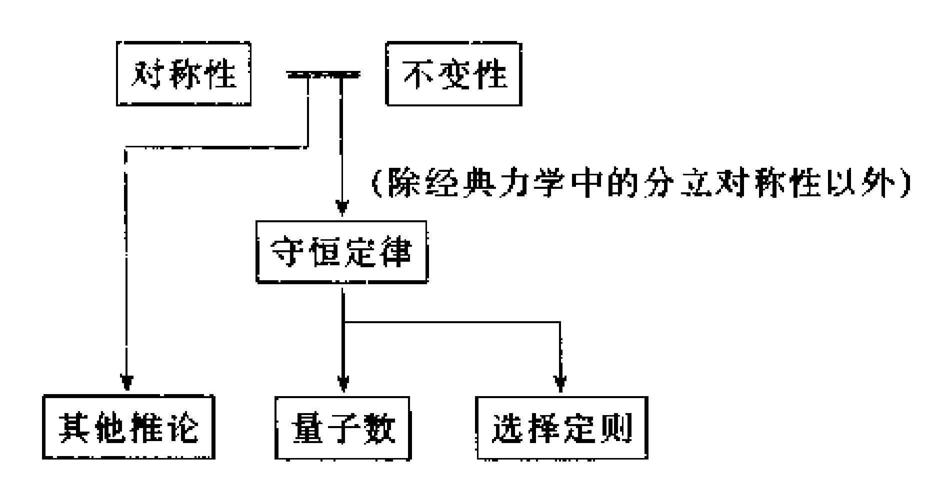


图 7　基本物理学中运用对称的示意图。(1957 年)

对称在量子物理学中所以大大扩展了其作用,是因为量子力学的数学(希尔伯特〔D. Hilbert, 1862—1943〕空间)是线性的[①]。由于这种线性,在量子力学中存在着叠加原理。在古典物理学中,椭圆轨道没有圆轨道对称。在量子力学中,由于叠加原理,人们在与圆轨道(s 态)的对称等同的立足点上讨论椭圆轨道(p 态)的对称性。事实上,所有轨道的转动对称在量子物理学中都是通过转动群的表象理论——一个极其优美的数学分支——来同时进行分析的。

作为这些发展所给出的深入了解的另一个例子,是在 19 世纪发现的周期表的结构。周期表是一项伟大的发现,可是周期 2、8、18 等是经验数,这些数目是通过比较各种元素的化学性质而找到的。对于它们的来源当时没有深刻的理解。在量子力学发展后,人们逐渐弄清楚,这些数目不是偶然的数目。它们可直接从库仑(de Coulomb, 1736—1806)力的转动对称得出。这一发展中数学推理的美妙和完美,及物理结果的深度和复杂,大大地鼓舞了物理学家,增强了他们对于对称概念的重要的认识。

在量子物理学中,对称概念的意义深远的结果的另一个例子

是狄拉克预言反粒子的存在。我曾把狄拉克这一大胆的、独创性的预言比之为负数的首次引入[②]，负数的引入扩大并完善了我们对于整数的理解，它为整个数学奠定了基础。狄拉克的预言扩大了我们对于场论的理解，奠定了量子电动场论的基础。

未曾料到的发展在1956—1957年间发生在下述发现[③]中：经过十分精确的观察，吴健雄和她的合作者发现左右对称在弱相互作用中不是有效的。这在当时使所有物理学家大为惊异，是第二次世界大战结束以来最激动人心的发现之一。它使对称(和非对称)概念在粒子物理学基础中的重要性更增加了。

韦纳尔·海森堡(Werner Heisenberg，1901—1976)和沃尔夫冈·泡利(Wolfgang Pauli，1900—1958)受到这一激动人心的场面的感染，开始在“具有高度对称的场方程”方面合作。海森堡后来写道[④]：

> 随着沃尔夫冈在这个方向迈出的每一步，他变得更加热情了——此前或此后，我从来也没有看到他对物理学这么激动过。

在几个月期间，他们是极为乐观的，但是最后努力失败了，结果以泡利向海森堡发起辛辣的、挖苦的攻击而告终，这是1958年在欧洲研究中心(CERN)的一次会议上当着目瞪口呆的听众而进行的攻击，这次会议的听众大多数是我这一代的物理学家。

对于对称和非对称的研究并没有由于这次惨败而减退。相反地在20世纪50年代末和60年代初，尤其是发现许多谐振之后，它变成了基本粒子物理学的占统治地位的主题之一。

1964年，由于关于时间反演与CP不守恒的发现[⑤]，另一个重大的激动席卷了物理学。这一微小的、难以察觉的效应在最近20多年导致了许多极重要的发展。

20 世纪:规范对称

图 7 是在 1957 年为概括当时对称观念在基本物理学中的作用而作的示意图。后来的发展大大地扩展了这种作用,以致在当今的 1991 年,那幅示意图必须作重大修正,像图 8 所示的那样。其实,在基本物理里面,对称考虑起了根本的变化:从**被动角色**,变成了决定相互作用的**主动角色**——我把这一角色称为[6]对称支配相互作用。

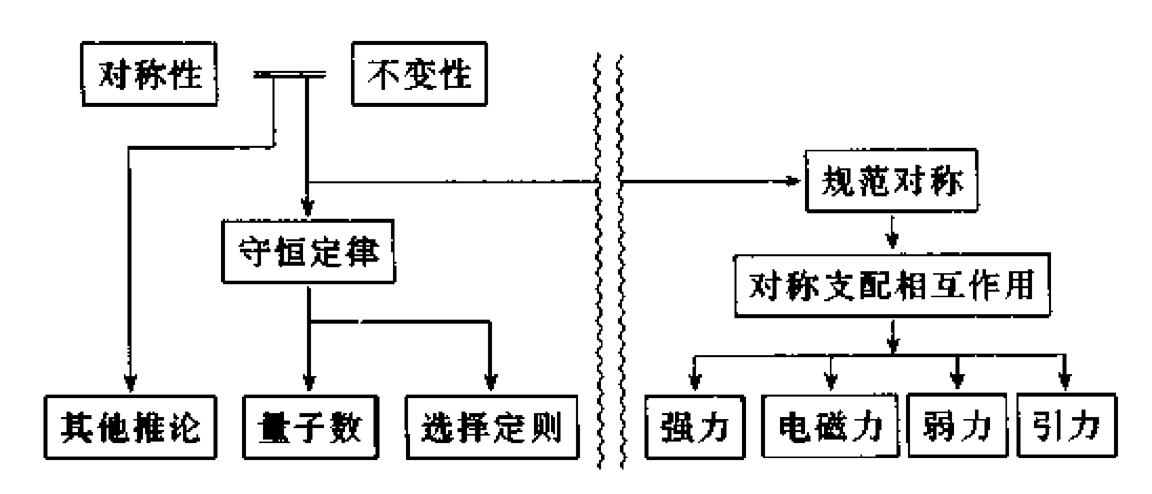


图 8　1991 年修正了的图 7

1954 年,由于注意到[7],粒子的电磁相互作用仅仅由它的守恒量电荷来决定,这便产生了一个问题:其他守恒量也可以决定相互作用吗? 答案是肯定的,并且绝妙。它包含着从韦耳(H. Weyl, 1885—1955)、伦敦(F. London, 1900—1954)和福克(V. Fock, 1898—1974)在 1918—1929 年间的工作中已发展的电磁规范对称的推广。电磁规范对称建立在十分简单的李群 U(1)的基础上。推广要求考虑比较复杂的李群,复杂的后果使得推广的方程具有陌生的非线性项,如下所示:

U(1)规范理论　　　　推广后的规范理论
(麦克斯韦理论)

$$f_{\mu\nu}=A_{\mu,\nu}-A_{\nu,\mu} \qquad f^{i}_{\mu\nu}=b^{i}_{\mu,\nu}-b^{i}_{\nu,\mu}-c^{i}_{jk}b^{j}_{\mu}b^{k}_{\nu}$$

$$f_{\mu\nu,\nu}=-J_{\mu} \qquad f^{i}_{\mu\nu,\nu}+c^{i}_{jk}b^{j}_{\nu}f^{k}_{\mu\nu}=-J^{i}_{\mu} \tag{1}$$

在这些方程式中，逗号表示微商。左边的第一个方程是熟悉的高斯(C. F. Gauss, 1777—1855)定律和法拉第(M. Faraday, 1791—1867)定律的组合协变形式。左边的第二个方程是熟悉的库仑定律和安培(A. M. Ampère, 1775—1836)定律的组合协变形式。右边的两个方程是它们的推广。我们注意到电磁势 A_{μ} 改成了 b^{i}_{μ}。上标从 1 到 n，这里 n 是李群的维度。符号 c^{i}_{jk}表示刻划李群特征的重要的结构常数。它们是整数，即正整数、负整数或零。

对于电磁现象而言，李群是 U(1)。关于这个群，$n=1$，从而我们能够去掉上标。而且，$c^{i}_{jk}=0$，所有方程简化为麦克斯韦形式。

就一般情况来说，$c^{i}_{jk}\neq 0$，规范理论方程含有非线性项[8]。我们稍后将返回到这一点。

20 世纪 60 年代和 70 年代的发展趋向于这样的观点：强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用都归因于以不同李群为基础的规范场；现在，这个观点已被普遍接受了。人们也普遍同意，引力相互作用也归因于一类规范场，不过由于规范自由度与自旋及坐标系统之间的微妙关系，以致引力作用今日还难以等价于规范场。这依然是物理学的一个十分突出的根本问题[9]。

在 1975 年发现[10]，物理学中的规范场概念与数学中的纤维丛概念有关。这一关系阐明了电磁固有的几何意义，也阐明了阿哈罗诺夫—博姆(Aharonov-Bohm)实验和狄拉克磁单极的拓扑意义。

在 1975 年的这篇论文中草拟了一个术语翻译表，它在图 9

被复制出来。这张表在数学家中间引起了浓厚的兴趣。尤其是，数学家开始把注意力集中在源 J(source J_μ^a，参见图 9 中的?)概念上，他们先前没有研究过这个概念，但是它在麦克斯韦方程和一般规范理论中对物理学家来说却是如此根本和自然。源 J 在物理学中被定义为场强的散度。在数学家今天的记号中，这个定义变成：

$$* \partial * f = J.$$

无源的情况满足方程：

$$* \partial * f = 0.$$

对这个方程的研究结果是极其富有成效的，它导致了拓扑学的惊人突破，唐纳森(S. Donaldson)为此荣获了 1986 年度的菲尔兹(Fields)奖。

我想就规范对称作几点附带的讨论：

(1) 爱因斯坦的广义相对论是对称被用来主动地决定相互作用的第一个例子[11]。用今天的语言来说，爱因斯坦把切丛(the tangent bundles)用于他的对称。切丛由于比其他丛更难以捉摸，因而难以用来推广到其他丛。这就是薛定谔(E. Schrödinger, 1887—1961)[12]、克莱茵(O. Klein, 1894—1977)[13]和其他许多人在本世纪 20 年代和 30 年代立足于广义相对论的工作为什么没有导致一般规范理论的缘由。请比较一下上面的注释[9]。

(2) 纤维丛是一个十分复杂的几何概念。今天认识到它原来是基本场结构的必不可少的元素，这也许会使爱因斯坦感到高兴，因为他曾多次强调(参见注释[6])，基本场就其本性而言必须是几何的。他也会因方程(1)的自然的非线性而快慰，因为他曾强调指出[11]："真正的定律不可能是线性的，而且也不可能从这样的线性方程中得到。"

TABLE I. Translation of terminology.

Gauge field terminology	Bundle terminology
gauge (or global gauge)	principal coordinate bundle
gauge type	principal fiber bundle
gauge potential b_{μ}^{k}	connection on a principal fiber bundle
S_{ba} (see Sec. V)	transition function
phase factor Φ_{QP}	parallel displacement
field strength $f_{\mu\nu}^{k}$	curvature
source[a] J_{μ}^{K}	?
electromagnetism	connection on a $U_1(1)$ bundle
Isotopic spin gauge field	connection on a SU_2 bundle
Dirac's monopole quantization	classification of $U_1(1)$ bundle according to first Chern class
electromagnetism without monopole	connection on a trivial $U_1(1)$ bundle
electromagnetism with monopole	connection on a nontrivial $U_1(1)$ bundle

[a] I. e., electric source. This is the generalization (see Ref. 3) of the concept of electric charges and currents.

图9　在规范场理论(物理学)和纤维丛理论(数学)中术语的翻译。

(3) 我在上面提到了克莱茵的论文[12],该文是他在1938年华沙会议上的报告。在这次"克莱茵纪念讲演"中,把赞颂之辞奉献给这篇今日很著名的论文是恰如其分的,该文提出的场论其方程含有十分类似于上述方程(1)的非线性项。克莱茵是怎样得到这些项的呢?答案在于,他从卡鲁札—克莱茵(Kaluza－Klein)理论出发,该理论建立在广义相对论的基础上,具有非线性项。不幸的是,正如在讨论(1)已经提到的,广义相对论(即切丛)难以适用于推广到其他规范场。这样一来,克莱茵没有发现非阿贝尔(N. H. Abel, 1802—1829)规范对称,他的论文没有产生多少影响。

(4) 正如维格纳(E. P. Wigner, 1902—)强调的[14],对称一词在通常用法中的意义比它在规范对称中的意义截然不同。这一差异在图10中显示出来。我们将举在古典力学或量子力学中的

氢原子方程转动对称作为通常对称的例子。由该方程可得出一个椭圆轨道的解,通过图 10 水平箭头指示的转动变换可以得到其他解。这些解表示不同的物理态。就规范对称而言,人们也能够由方程的一个解通过图 10 中水平箭头指示的规范变换得到另外的其他解。可是所有这些解表示同一物理态。

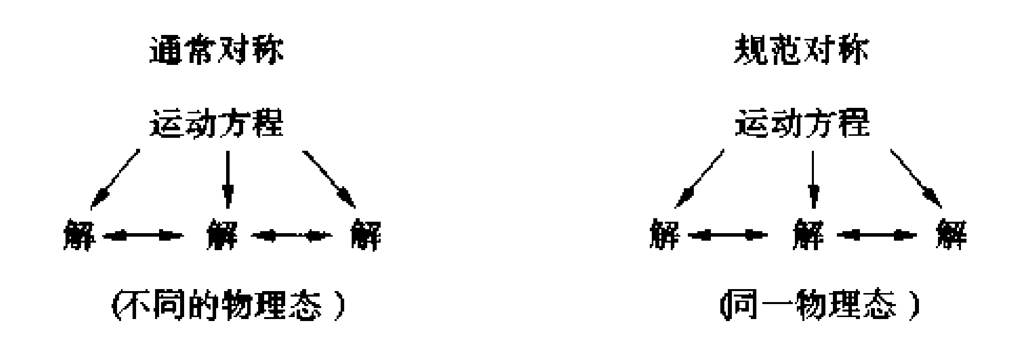


图 10　通常对称和规范对称之间的差异的示意图。水平箭头表示联系各个解的对称变换。对左列来说,这些解表示不同的物理态。对右列来说,它们表示相同的物理态。

(5) 当代基本物理学深奥的秘密之一是重整化概念。这里不是详细讨论这一概念的地方。只要说说下述事实就足够了:一方面它在预言基本粒子的根本性质时产生了不可思议的精确度(达到 10^{11}分之一),而另一方面它依然缺乏牢固的数学基础。

在过去 40 年,我们习得的训诫之一是,对称对于重整化是极有效的:(i)对重整化的需求在本世纪 30 年代已经明显了,但是重整化作为一种纲领只是在 40 年代末才被人们所理解。这是因为,直到 40 年代物理学家才充分使用洛伦兹对称。(ii)一般规范理论由于是高度非线性的,因而似乎很难重整化。通过 70 年代初的美丽的工作[15],人们才弄清楚,一般规范理论是可以重整化的,因为它含有高度对称。

为了使重整化不再神秘,我们可能需要对对称概念更深入的

了解。

(6) 经过许多物理学家的工作，对称破缺的概念在本世纪60年代和70年代被引入基本粒子物理学。用最简单的语言来讲，该观念使数学形式保持对称，而使物理结果保持不对称。“标准模型”就是建立在具有对称破缺的规范理论的基础上，为此格拉肖(S. Glashow, 1933—)、萨拉姆(A. Salam, 1926—)和温伯格(S. Weinberg, 1933—)分享了1979年诺贝尔奖。这个模型是极其成功的。可是，对称破缺在这个模型中被引入的方式却不能令人满意。大多数物理学家认为，在这个课题上还不能说已有定论。

(7) 超对称理论、超引力理论和超弦理论这些最近发展，都是在场论和场论的推广中探索和开拓对称的各种新方向的尝试。

21世纪：对称的新方面？

分析物理学中对称概念在许多世纪中的演进，我们不能不为下述诸事实而得到不可磨灭的印象：古希腊哲学家的直觉概念确是在正确的方向上，这个概念在数学和物理学中的演变导致在两个学科中的深远发展，而现在依然悬而未解的基本物理的最深奥的秘密与这个概念好象全都纠缠在一起，等待未来的进一步的发展。

在理解物理世界的过程中，下一个世纪会目睹对称概念的新方面吗？我的回答是，十分可能。

参考文献：

① C. N. Yang, *Physics Teachers* 5, 311 (October 1967).

② C. N. Yang, *Symmetry Principles in Modern Physics*, 在 Bryn Mawr 学院所作的讲演。印在 Chen Ning Yang, *Selected Papers 1945—1980* with Commentary, p. 276(Freeman, 1983).

③ C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes and R. P. Hudson, *Phys. Rev.* 105, 1413 (1957).

④ Werner Heisenberg, *Physics and Beyond*, Chap. 19(Harper and Row, 1971).

⑤ J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch and R. Turlay, *Phys. Rev. Letters* 13, 138 (1964).

⑥ Chen Ning Yang, *Physics Today* 33, 42 (1980, June).

⑦ C. N. Yang and R. L. Mills, *Phys. Rev.* 95, 631 (1954); 96, 191 (1954)。参见 Chen Ning Yang, *Selected Papers 1945—1980 with Commentary*, p. 19(Freeman, 1983).

⑧ 在这里,非线性与早先提及的希尔伯特空间的线性毫无关系。正如我们现在所了解的,量子力学建立在总是线性的希尔伯特空间的数学基础上。非线性在这里涉及到像正文展示的规范理论方程这样的方程,这些方程在希尔伯特空间是超结构。

⑨ 请注意切丛在数学中也比其他丛难以捉摸。参见 *Hermann Weyl 1885—1985*, edited by K. Chandrasekharan (Springer-Verlag, 1986)一书中我的文章,尤其是脚注29。

⑩ Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang, *Phys. Rev.* 12, 3845 (1975).

⑪ A. Einstein, *Autobiographical Notes* in *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, edited by P. A. Schilpp (Open Court, Evanstan, Ill., 1949)。另见参考文献⑥。

⑫ E. Schrödinger, *Sitz. der Preuss. Akad. der Wiss.*, 1932, p. 105.

⑬ O. Klein in *New Theories in Physics* (Warsaw Conference, May 30 to June 3, 1938) (Nyhoff, Hague, 1939).

⑭ E. Wigner in *Gauge Interactions Theory and Experiment*, edited by A. Zichichi (Proceedings of the Erice School, Aug. 3-14, 1982), pp. 725—733 (Plenum, 1984).

⑮ G. 't Hooft, *Nuclear Physics*, B33, 173 (1971); B35, 167 (1971); G. 't Hooft and M. Veltman, *Nuclear Physics*, B50, 318 (1972).

现代物理和热情的友谊

本文原载香港《明报月刊》，1991年8月号，译者沈良。

1941年到1942年，我是昆明西南联合大学物理系四年级的学生。这个系比较小，共有约10位教员、10位助教、几位研究生和一些本科生。本科生每班不到20人。1941年秋天开学的时候，一个新的面孔出现了，旁听很多大学本部和研究院课程，也参加了所有的讨论，那就是黄昆。那时，他已经从北平燕京大学获得了物理学士学位，到联大来做助教。开学不久，我们就熟识起来，开始了我们半个世纪的友谊。

我们所读的课程里，两个是吴大猷教授教的经典力学和量子力学。量子力学是一个革命性的新发展。在1925年到1927年间起源于德国、瑞士、英国和丹麦。吴教授是中国的物理学家中，在1930年代到1940年代训练了最多量子力学学生的教授。我记得当时许多关于量子力学的讨论都是在吴教授的演讲之后进行的。通过那些讨论，我开始认识了黄昆的为人和他学物理的态度。

一年后，在1942年的夏天，黄昆和我都注册为西南联大的研究生。黄昆跟着吴大猷教授做有关天体物理学里原子和分子问题的论文，我跟王竹溪教授做有关统计力学的论文。当时研究生的补助金是不够的，所以我们都在找教学职位来增加我们的收

入。我父亲的朋友徐继祖先生，是昆华中学的校长，他安排黄昆、我和张守廉——另一位物理研究生——到昆华中学教书。三个人分了一个教师的位置，而学校安排了一座新建筑角落里的一间房间给我们三人住。

那所中学距离联大差不多 3 公里。我们 3 人白天经常在大学校园里上课、吃饭、上图书馆，晚上才回到我们的房间睡觉。因为大学校园内没有供应食水的设施，所以我们养成了一个习惯：每天晚饭后，回到中学以前，花一个或两个小时在茶馆里喝茶。那些茶馆集中于大学附近的三条街上。通过那些喝茶的时间，我们真正地认识了彼此。我们讨论和争辩天下一切的一切：从古代的历史到当代的政治，从大型宏观的文化模式到最近看的电影里的细节。从那些辩论当中，我记得黄昆是一位公平的辩论者，他没有坑陷他的对手的习惯。我还记得他有一个趋向，那就是往往把他的见解推向极端。很多年后，回想起那时的情景，我发现他的这种趋向在他的物理研究中似乎完全不存在。

茶馆的客人们包括种种人物，有不少学生。可是大多数的茶客是镇民、马车伕和由远处来的商人们。大家都高谈阔论，而我们通常是声音最大的。有时候，正当我们激烈地辩论时，会突然意识到我们的声音太大，大家都在看着我们（这种意识并不一定使我们停止辩论）。可是一般来说，学生们与其他茶客之间并没有不和的气氛。

在茶馆中，我们曾经目睹过一些永远不能忘记的情景和事件，好几次坐在凤翥街的茶馆里，我们看见一队一队的士兵押着一些犯人向北方走去，走向昆明西北郊的小丘陵地带，那里满布着散乱的野坟。每一个犯人都背着一块白色的板子，上面写着他们的名字和罪行。大多数的罪犯都静静地跟着士兵走，有少数却喊着一些口号，像："20 年后，又是一条好汉！"每一次当这种队伍

走过时，茶馆里的喧闹声就会突然熄灭。然后，远处预期的枪声响了，我们都静静地坐着，等待着士兵们走回来，向南方回到城里去。

衬着这种背景，我们无休止地辩论着物理里面的种种题目。记得有一次，我们所争论的题目是关于量子力学中"测量"的准确意义。这是哥本哈根(Copenhagen)学派的一个重大而微妙的贡献。那天，从开始喝茶辩论到晚上回到昆华中学；关了电灯，上了床以后，辩论仍然没有停止。

我现在已经记不得那天晚上争论的确切细节了。也不记得谁持什么观点。但我清楚地记得我们3人最后都从床上爬起来，点亮了蜡烛，翻看海森堡的《量子理论的物理原理》来调解我们的辩论。

黄昆是一位英文小说迷。是他介绍给我 Joseph Conrad, Rudyard Kipling, John Galsworthy 和其他作家。这些作家的许多小说可以从大学图书馆里借得到，其他的我们常常从那些卖美军的"K-干粮"、军靴、罐头、乳酪和袖珍本的书的地摊上买到，这些地摊当时在昆明到处都是。

我们的生活是十分简单的，喝茶时加一盘花生米已经是一种奢侈的享受。可是我们并不觉得苦楚：我们没有更多物质上的追求与欲望。我们也不觉得颓丧：我们有着获得知识的满足与快慰。这种十分简单的生活却影响了我们对物理的认识[①]，形成了我们对物理工作的爱憎，从而给我们以后的研究历程奠下了基础，这是我们当时所没有认识到的。

1943年的春天，我们三个人觉得每天在大学和昆华中学两地来回走是很不方便的，所以我们放弃了中学的工作，各自搬进了大学的研究生宿舍，但是一直到第二次世界大战结束时，我们都常常见面。1945年夏天，我们各奔前程：黄昆去了英国做固

体物理的研究，张守廉去了 Purdue 大学做电子工程的研究，而我去了芝加哥做基本粒子物理的研究。

下一次我看见黄昆是在 1971 年的夏天，那是我第一次访问中华人民共和国。在这以前，我们曾通过几次信件，我知道他的一个重大贡献是于 1950 年代发展了中国半导体物理研究。在 1960 年代早期，普林斯顿大学出版了一本我的小书，名叫《基本粒子——原子物理上一些发现的简史》。那是一本印刷得十分漂亮的书。收到最初几本以后，我选了一本小心地题了辞，托人带给黄昆。那本小书今天还在黄昆的书架上，但是我的题辞却不见了——文化大革命的后果之一——我们记得那题辞是这样的：

"给黄昆：纪念我们共同了解现代物理秘奥的时日。当时形成的热情的友谊没有随时空的隔离而消逝。"

注：

① 见杨振宁，《1945—1980 年论文选集与后记》，Freeman and Co.，1983，第 3—6 页。杨振宁，《读书教学四十年》，香港三联书店，1985，第 3—9 页。

陈省身和我(1991)

原载丘成桐编:《陈省身——20世纪伟大的几何学家》(Chern—A Great Geometer of the Twentieth Century), International Press. Hong Kong. 1992。译者张莫宙。

当陈省身教授在北京清华大学做研究生时,我父亲是清华数学系教授,而我只是一个小学生。我已记不得那时是否见过陈省身教授。可是我确实记得在1929年10月初第一次见到陈省身夫人时的情景。那时我只有7岁,她则是一名初中学生。她的父亲郑桐荪教授,已任清华大学数学系教授多年,我们杨家则是当年秋新搬来的。郑家邀请我们全家去吃晚饭,于是我第一次认识了"郑姐姐"。

在陈省身去德国攻读博士学位之前,他是清华大学一位优秀的研究生。1937年他回到中国教书。由于日本的侵略,清华大学先撤退到长沙,然后又和北京大学、南开大学合并成战时的西南联合大学。陈省身是当时一位极出色和受欢迎的教授,和华罗庚、许宝騄及其他年青教授一起,在校园里营造了活跃的数学研究气氛。我对我的大学生活有着美好的回忆,对我在那里所受到的良好教育(1938—1944)怀着深深的感激之情①。

我很可能旁听过陈省身的好几个数学课,但据保存至今的成绩单,我只在1940年秋天,当我还是三年级大学生时,选修过他

的微分几何课程。

今天，我已不很记得上课的情形了。可是有一件事使我印象很深：如何证明每个二维曲面都和平面有保角(conformal)变换关系。我知道如何把度量张量化成 $A^2\mathrm{d}u^2 + B^2\mathrm{d}v^2$ 的形式，却无法再前进。有一天，陈先生告诉我要用复变数，并写下

$$C\mathrm{d}z = A\mathrm{d}u + iB\mathrm{d}v$$

这个式子。学到这简单的妙诀，是我毕生难忘的经历。

郑家和杨家来往很密。1939 年，我的父母亲更撮合了陈教授与郑士宁女士的婚事，并且成为他们在昆明结婚时的介绍人。

众所周知，陈省身于 1943 年访问普林斯顿高等研究所。在其后的两年里，他以“陈氏级”的工作把大范围微分几何全面地改观了。整个 50 年代和 60 年代，我们在芝加哥、普林斯顿、伯克利常常见面。我一再听说“陈氏级”的重要性，可是我并不知道它的奥妙。到了 60 年代末，我发现规范场用到的数学恰和黎曼几何十分相似。于是向本校数学系系主任 J. 西蒙斯(Simons)求教。他让我读斯廷罗德(Steenrod)的《纤维丛的拓扑学》一书。我早就认识斯廷罗德。1955 年，我曾买下他在普林斯顿附近劳伦斯韦尔镇上卡特街的房子。我记得他很不善于和别人交流。他的书至少和他本人一样地难以与人交流，如果不是更难的话。从他的书中我什么也没学到。

这样一直到了 1975 年，当西蒙斯在我们的理论物理研究所作了一系列的演讲之后，我总算懂得了纤维丛以及纤维丛上的联络。接着，吴大峻和我用纤维丛的观点重新核查了麦克斯韦的电磁理论和规范场理论。经过一番努力，曹宏生和我也终于明白了最基本的陈省身—韦尔定理(Chern-Weil Theorem)。

我在懂得这深奥美妙的定理后，真有触了电的感觉。这个感

受,犹胜于在 60 年代了解韦耳计算群表示(representation)的特征标和彼得—韦耳(Peter-Weyl)定理之后的喜悦。为什么呢?可能是因为陈—韦尔定理更“几何”一点吧。

而且,感受并不止于此。还有更深的,更触及心灵深处的地方:到头来忽然间领悟到,客观的宇宙奥秘与纯粹用逻辑及优美这些概念发展出来的数学观念竟然完全吻合,那真是令人感到悚然。在为纪念爱因斯坦诞生 100 周年举行的第二次 M.格罗斯曼会议上,我曾经这样描述我的感受[②]:

> 1975 年,规范场就是纤维丛上联络的事实使我非常激动。我驾车去陈省身在伯克利附近埃赛里托(El Cerrito)的家〔1940 年初,当我是国立西南联大的学生,陈省身是年轻教授的时候,我听过他的课。那是在陈省身推广高斯—包乃特定理(Gauss-Bonnet Theorem)和“陈氏级”的历史性贡献之前,纤维丛在微分几何中还不重要〕。我们谈到友谊、亲朋、中国。当我们谈到纤维丛时,我告诉他我从西蒙斯那里学了漂亮的纤维丛理论以及深奥的陈省身—韦尔定理。我说,令我惊异不止的是,规范场正是纤维丛上的联络,而数学家是在不涉及物理世界的情况下搞出来的。我又说:“这既使我震惊,也令我迷惑不解,因为,你们数学家居然能凭空想象出这些概念。”他立即反对说:“不,不,这些概念不是想象出来的。它们是自然而真实的。”
>
> 数学和物理学之间有如此深刻的联系,似乎这两个学科之间应有很多的重迭部分。然而,这是不对的。它们各自分别有自己的目标和风格。它们具有截然不同的价值观,以及不同的传统。在基本概念的层面,它们令人惊讶地共同分享某些概念,但即使在那里,两个学科仍然按着各自的脉络生长着。

大约在 1949 年的元旦,陈省身全家从南京到普林斯顿时路

过芝加哥。我到他们下榻的温德摩(Windemere)旅店去看望。那是我第一次见到他们的两个孩子、陈伯龙和陈璞。我清楚地记得陈璞穿着一身白色皮衣在房间的地毯上到处爬。后来,我没能作为"介绍人"出席她和朱经武的婚礼,但是我却分享了陈家的一件极为欢愉的事:1987 年 2 月,朱经武的休斯顿实验室宣布,他和他的同事发现了一种材料,在高于液氮温度的条件下成为超导体。这真是一项令世界震惊的发现,它将宣告一个物理学分支的出现,并预示着未来巨大的工业应用。

注:

① Chen Ning Yang, *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*, p. 3 (Freeman, 1983).

② Chen Ning Yang in Selected Studies; Physics-Astrophysics, Mathematics, History of Science, ed. T. M. Rassias and G. M. Rassias, P. 139 (Noorth Holland, 1982). Also in Physics Today, 33 42(1980) but with the 2-leaves diagram left out.

附:我与杨家两代的因缘

本文作者为陈省身。原载香港《明报》1987 年 1 月 9 日。

中文大学杨振宁图书室开幕,不可无祝。记与武之先生、振宁两代半世纪的关系,以代贺辞。

我于1930年从南开大学毕业，投考入清华研究院。9月去报到，才知因为只有我一个学生，数学系决定缓办一年，聘我为助教。那时数学系最活跃的两位教授，是孙光远和杨武之先生。我从孙先生习几何，比较相熟。杨先生专长代数，有时在办公室谈天，觉得他为人正直，通达情理。那时数学系教员连我在内共七人，曾多次到杨家吃饭，振宁才8岁。

杨、孙二先生都是芝加哥大学博士。清华后来聘请的胡坤升先生也是芝大博士。振宁又是芝大出身，而我则于1949年到1960年在芝大教了11年。我们同芝大真是有缘了。

我入研究院后曾选读武之先生的《群论》课。那时搞代数的年轻人有华罗庚和柯召，在同一班上。武之先生有时同我们谈到振宁的早慧。往事历历，不禁沧桑之感。

我同杨先生接触较多的一年是1934年。那年他代理系主任，我则从研究院毕业，准备去德国留学。我因论文导师孙先生去了中央大学，成了“孤儿”，办理毕业与留学，不全顺利，杨先生是我在学校里最可靠的朋友。

我同士宁的婚姻是杨先生促成的，1937年我们在长沙订婚，他是介绍人之一。

1938年起在昆明西南联大，杨先生是清华的系主任，振宁则是物理系的学生。振宁曾选读过我的好几门课，包括为研究院开设的法国大数学家嘉当(Cartan)的偏微分方程组的理论。联大的学生优秀。那时我的班上数学系有王宪钟、严志达、吴光磊等，物理系除振宁外还有张守廉、黄昆等，这些人后来都有独特的贡献，成为各方面的领袖。“得天下之英才而教育之”，是我一生的幸运。尤其幸运的是这群好学生对我的要求和督促，使我对课材有更深入的了解。振宁在班上是一个活跃的学生。那时中外隔断，设备奇缺。但是我们的学术生活并不十分贫乏。

事后想来，我们必曾注意到嘉当在1923年、1924年关于相对论的两篇重要论文。他的处理方法可用到任意纤维丛的联络。这也是物理上规范场论的几何基础。40年来这些都发展为数学上的基本概念。

1945年振宁来美国留学。在他去芝加哥前，我们曾在普林斯顿相见。

等到我1949年夏去芝加哥任教，振宁在物理系任教员，时常相会。1954、1955年我从芝加哥休假，去普林斯顿一年，振宁在彼。我们见面常谈学问。很奇怪的，杨—米尔斯场论发表于1954年，我的示性类论文发表于1946年，而我于1949年初在普林斯顿讲了一学期的联络论，后来印成笔记，我们竟不知道我们的工作有如此密切的关系。20年后两者的重要性渐为人所了解，我们才恍然，我们所碰到的是同一大象的两个不同部分。

矢量丛的联络已成为数学的基本概念，相信在不久的将来，它将成为高等微积分课程的课材。它的观念其实很简单自然。它有局部的和整体的性质。两者的关系便成为微分几何学家研究的对象。这个观念同物理学的场论自然符合。数学家得到现在的认识，花了几十年功夫。譬如沙漠求泉，得来不易；海底探宝，获珠为难。科学家献身而辛勤，非常人所可了解。他的酬报是得宝后的快乐。

在物理上重要的一个特别情形，振宁与米尔斯能独立看出这些深刻的数学性质，这是十分惊人的。许多物理学家认为物理学家不必读太多数学，因为他们应该能发现所需要的数学。这是一个例子。1954年杨—米尔斯的非阿贝尔(Non-Abelian)规范场论是一个大胆的尝试。现在大家公认，物理上的一切场都是规范场。

振宁在基本粒子论另一个重要贡献是他同李政道关于宇称

可能不守恒(Non-Conservation of Parity)的建议。他们因此于1957年获得诺贝尔奖。振宁在理论物理领域还有许多重要的工作,都富有独立性与创造性。在理论物理学家中,他以超人的数学能力见长。

我同杨氏父子的关系,有几点值得特别提出的:第一,武之先生促成我的婚姻,使我有一幸福的家庭。第二,振宁在规范场的工作同我在纤维丛的工作,有一共同出发点。我们走了不同的方向,在物理和在数学上都成为一项重要的发展。这在历史上当是佳话。第三,他们每人送我一首诗。社会对我的认识,这两首诗的作用很大。1962年夏天武之先生及杨师母在瑞士日内瓦小住,我专程去看他们,相聚数日。杨先生送我以下的诗:

冲破乌烟阔壮游　果然捷足占鳌头
昔贤今圣遑多让　独步遥登百丈楼
汉堡巴黎访大师　艺林学海植深基
蒲城身手传高奇　畴史新添一健儿

振宁在一篇文章中为我作了下诗:

天衣岂无缝　匠心剪接成
浑然归一体　广邃妙绝伦
造化爱几何　四力纤维能
千古寸心事　欧高黎嘉陈

最后一句不敢当,姑妄听之而已。

1986年春,天津南开大学授振宁名誉教授名义。他来南开,并参观南开数学研究所。我们决定在所中成立理论物理组,由他指导。先后50年,从联大到南开(南开是联大的一员),造物主待我们厚矣。

关于中国现代科学史研究
——和华东师范大学张奠宙教授的谈话(1991)

本文作者为张奠宙,原载《科学》1991年第2期。

1990年我在美国纽约州立大学作访问研究(香港王宽诚基金会支持),课题是20世纪数学史。举世闻名的物理学家杨振宁教授在数学上亦有许多贡献。别的不说,他和米尔斯提出的非交换规范场论和他1967年发现的杨—巴克斯特方程都已成为当今数学界的热门课题。可以说杨教授是20世纪数学和物理学发展的一位前驱者。于是我去信求访。承蒙杨先生首肯,遂有1990年10月19日下午的这次访谈。我们的话题是现代中国科学史研究。

张:十分荣幸能和您谈话。我过去研究线性算子理论,现在对现代数学史感兴趣。最近听说您对中国现代物理学史的研究十分关注,可否请您谈谈这方面的情况?

杨:我觉得自己有责任做一点中国现代的物理学史研究,介绍和评论一些当代中国物理学者的贡献。说起来,这还是受日本学者的启发。日本人对本国学者的科学贡献研究得很透彻,而且"寸土必争",著文论述。比如有一位日本物理学者长冈曾在1903年提出过一个原子模型,后来看来是错的,但还是有文章探讨,竭力从中发掘一些积极的东西。相比之下,我们在这方面做

得不够。苏步青先生对日本人了解很深。他说,日本人的一个特点是认真,认真得连安装一颗螺丝钉,包装一件小商品,都精益求精,不遗余力。说起来,对本国学者取得的科研成就确实应该认真对待。中国前辈科学家在艰苦条件下取得的成果更应该珍视。正是在这种刺激下,我开始做一些工作。

张:我看过您和李炳安教授合写的《王淦昌与中微子》的文章①,这篇文章不是新闻报道式的介绍,而是依据大量历史文献和科学论据写成的科学论文。请您谈谈这篇文章。

杨:王淦昌先生对验证中微子存在的理论构想,确实极富创造性。自从泡利于1930年前后提出中微子的假说后,关于中微子存在的实验久久未能取得成功。这是因为中微子不带电荷,不易用探测器发现,而且它几乎不与物质碰撞(比如可以自由穿过地球),很难找到踪迹。到了1941年,正是中国抗战艰苦的年代,王淦昌从贵州湄潭(浙江大学避难地)向美国《物理评论》寄去一篇论文。这篇文章建议用K电子俘获的办法寻找中微子。文中指出:"当一个β^+类的放射元素不放射一个正电子,而是俘获一个K层电子时,反应后的元素的反冲能量和动量仅仅依赖于所放射的中微子,……只要测量反应后元素的反冲能量和动量,就很容易找到放射出的中微子的质量和能量。"

王淦昌先生真是一语中的,给"山穷水尽疑无路"的中微子存在验证,带来了"柳暗花明又一村"的境界。文章发表后几个月,艾伦就按王淦昌的建议做实验,可惜因实验精度不够,未能测得单能反冲。如果当时艾伦的实验能完全成功,一定会在当时造成相当的轰动。以后又有许多人按这一方法继续工作,直到1952年,戴维斯终于用Be^7的K电子俘获实验证实了中微子的存在。可是现在人们提到中微子的存在实验时,往往只有戴维斯的工作,却把王淦昌的原始构想忽略了,所以我和李炳安一起写了这

篇文章，以期引起世人的注意。

张：这种情形在数学界也是常有的。陈省身先生在与别人合作的一篇介绍王宪钟数学成就的文章中这样写道："王宪钟对自己的工作是如此谦虚，对自己的成就如此淡泊，以致他的高质量的创造性研究并非像应有的那样广为人知。时至今日，他多年前所作的最好的工作，已被广泛地吸收到许多著作和论文之中，人们一再引用这些著作，却忘记了原始论文的作者。"此外，许宝騄先生在数理统计学上的历史性贡献，过去国内注意不多。后来钟开莱先生作了大力介绍和发扬，在国内影响很大。

杨：正因为如此，我想，整理和评价当代中国学者的科学贡献，应当是中国科技史研究的重点之一。特别是一些重要的历史性的贡献，应当恢复其历史本来面目，不可马虎。去年，李炳安和我所写的关于赵忠尧先生的文章就属这一类。文章用英文写成，发表在《国际现代物理杂志》上。

1930年前后是物理学的一个大变动时期。1928年狄拉克提出量子电动力学，预测一切粒子都有反粒子，很多人不相信。直到1932年安德森发现正电子才加以证实。1933年，布莱克特和奥克里尼阐述了正负电子偶产生和湮没的过程，终于平息了对狄拉克理论的怀疑浪潮。但是，这两项重要工作都无例外地受到赵忠尧实验的启发。而电子偶产生和湮没的实验基础，更直接源于赵的两个成功实验。这可由当事人的回忆作证。发现正电子的安德森，1930年正在赵先生实验室隔壁做博士论文。他在1983年的一篇历史回顾文章中还清楚地记得赵忠尧的工作曾引起他的极大兴趣和关注。1980年，奥克里尼在对日本的早川的谈话中也高度评价赵的实验。可是奥克里尼在1933年文章中对赵忠尧实验的处理就不能令人满意了。

张：可否请您稍为详细些介绍赵先生的实验？

杨：1929年底，赵忠尧在美国的加州理工学院（帕沙地那城）作研究。他发现重元素（例如铅）对硬 γ 射线有异常吸收现象。他的导师密里根起初不相信，所以迟到1930年5月15日才投寄发表，数月后在《美国国家科学院通报》上刊出。同在1930年，英国的泰伦特和德国的迈特纳与霍普费尔德也发现了相同现象。但据1932年的分析，以赵忠尧实验的数据最为准确。可是有些德国文献将"异常吸收"称为迈特纳一霍普费尔德效应。

紧接着赵忠尧做了更为困难的散辐射实验，发现与"异常吸收"相伴的还有"额外散辐射"，并指出它相当于0.5兆电子伏的光子。这表明，赵忠尧从实验上发现了电子偶的湮没！报告也在1930年发表。

可是，布莱克特和奥克里尼在1933年文章中解释"反常吸收"和"额外散辐射"时，所引用的实验报告却首先是格雷和泰伦特在1932年的论文，接着是迈特纳和霍普费尔德在1931年的论文，最后才是赵忠尧的论文，且误写为1931年。这就太不公平了。

事情还不仅如此。布莱克特和奥克里尼在文章中解释电子偶湮没过程时用到额外散辐射相当于0.5兆电子伏的数据。但是，格雷与泰伦特文中只有0.92兆电子伏的错误数据。迈特纳和霍普费尔德的论文根本没有提到"额外散辐射"。这样一来，错误的或根本无关的论文放在前面，唯一正确的赵忠尧论文却置于次要地位，这就失去了历史的真实，所以我们要写文章纠正这一令人遗憾的事，澄清事实，以正视听。

张：赵忠尧先生还健在，他应当能回忆起当时情形。

杨：赵先生今年88岁了。1986年，我和李炳安还专程去访问过赵先生。1989年，我们的论文发表后，听说赵先生已经知道了，非常高兴。

张：恢复历史本来面目，并不是一件容易的事。历史上以讹传讹，弄假成真的事屡见不鲜。比如三次方程的求根公式都称为卡丹公式，其实是泰塔格利亚告诉卡丹的。不过，您是当代物理学的名人，您的话有份量，当会引起人们的重视。

杨：究竟会怎样，也很难说，我只是尽我的责任而已。我想我也许可以做得更早些。奥本海默对这段历史很清楚，如果他健在，我去问他，他的话会更有说服力。我想，这类事还得靠大家来做。这里又要提一件日本人的事。三四十年来，关于双介子假说，日本学者曾经再三强调日本的坂田早就讨论过。几十年的强调使得今天大家谈到双介子假说都将马沙克与坂田并提。我认为日本学者的做法值得我们注意。也就是说，事在人为，做和不做是大不一样的。

应该看到，一般人引用文献时，总是喜欢多引自己熟悉的、认识的或者打过交道的学者的工作。由于中国学者过去与国际交往较少，别人不熟悉就容易被忽略。所以，中国学者多参加国际交往，注意国际合作，还是很重要的。

这里也顺便提一点想法。如果赵忠尧、王淦昌先生取得博士学位之后，能在国外多留几年，和国际科学界多打一些交道，也许情况就不是现在这个样子。从 1930 年到 1937 年抗战这段期间；物理学界发展极快，赵忠尧先生、王淦昌先生如能在外国继续工作几年一定会有更多的发现，并取得更高的国际学术地位。

张：您刚才多次提到日本对本国科学史的重视。中国数学史研究也落后日本好多年。您的书架上有三上义夫用英文写的介绍中国古代数学的书。而中国人自己写的这类英文著作至今似乎还没有。最近，我在哥伦比亚大学图书馆发现中国数学史名家李俨先生 1916 年和美国数学史权威史密斯的通信。当时，他们曾计划合写一部英文的介绍中国数学史的书，可惜未能成功。

但史密斯和三上义夫合著的介绍日本和中国数学史的书，早在1914年已在美国出版。因此，增加国际交往，发展国际合作，对于中国科学史研究，也是十分重要的。提倡用英文发表论文，似也重要。

杨：现在中国和华裔的学者在国际科学界已经有了良好的声誉，比三四十年代的情形要好多了。因此，华裔科学家之间也应彼此支持，相互介绍推荐，以扩大影响。

张：最后我想问一个关于您父亲杨武之先生的问题。我最近在写《中美数学交往(1850—1950)》一文，觉得美国数学界在代数方面是透过杨武之而对中国产生影响的。他受狄克逊的指导在芝加哥大学取得博士学位，论文题目是"华林问题的各种推广"。华罗庚早期论文也是关于华林问题，我猜想二者间必有联系，但却未见国内文字报道，您可否谈谈您的看法。

杨：华先生最早的论文确是受我父亲的影响而写的。我父亲一生从事数学教育工作，对培养现代数学人才，对清华、联大的数学系都有很多、很长久的贡献。他有过很好的学生，如华罗庚和柯召。他和华罗庚的关系尤其十分密切。华先生在1930年到清华时，我已经8岁，能够记事了。抗战期间，于1938年，我们两家曾住在一个村庄(昆明西北郊的大塘子村)，过往很密。华先生曾有信给我父亲说："古人云生我者父母，知我者鲍叔，我之鲍叔即杨师也。"这封信我亲眼见过。

关于我父亲第一个发现华罗庚的《苏家驹之代数的五次方程式解法不能成立之理由》(编者注：见《科学》15卷2期307页)，并推荐给系主任熊庆来，早年引导华罗庚先生走上数论道路，力争越级提升华先生为正教授等情，均系确有其事。好在华先生在1980年10月4日曾有一信给香港《广角镜》月刊[2]，澄清了一些以讹传讹的传闻。因此，要弄清楚这段历史，应该是不困难的。

张：对我来说，这还是初次听到。由于华罗庚先生传奇式的经历在我国广为人知，所以搞清这一史实显得十分重要。我希望经过努力，不久会恢复其历史本来面目。

关于杨武之先生您还能提供一些其他资料吗？

杨：我父亲于1928年在芝加哥大学获博士学位，导师是狄克逊。狄克逊在当时美国的数学界声望很高，有一个很大的学派。可惜这个学派已是强弩之末，随着英国哈迪和利特伍德领导的解析数论兴起而逐渐衰落下去。所以我父亲的研究工作以后未能有大的发展。他共发表过论文3篇。最好的工作是任何正整数可表为9个棱锥数[pyramidal number: $P(n)=(1/6)(n^3-n), n>1$]之和。1952年沃森将9改进到8，至今未闻再有进展。我用计算机对10^5以内的正整数测算，都能表为至多5个棱锥数之和，而且需要"5个"的正整数的分布，随增大而变稀。当然，这只是猜测，不能算作证明。

张：不知不觉已经快3个小时了。我不能打扰您更多的时间。今天的谈话不仅有助于物理学史和数学史研究，对整个现代中国科学史研究都有启发。非常感谢您。

注：

① 见《王淦昌和他的科学贡献》，北京：科学出版社，1987，以及本书第560页。

② 香港《广角镜》月刊，1980(11).31. 该刊所载华罗庚先生1980年10月4日致该刊编辑的信，信的内容全文如下："来美后得阅贵刊关于我的报道(原编者注：系指该刊1980年7月的第94期上所载甘满华的《大数学家华罗庚》一文)，十分感谢。事事有出处，语语有根据，实事求是，科学之道也。但传闻往往有错，以讹传讹。特别关于我去清华一段，目前我在美国一日一校，无暇详述，仅作一简单说明如下：1. 当时数学系主任熊庆来教授是法国留学回来的。2. 和我通信联系的是我的一位素不相识的小同乡唐培经教授(当

时是教员)。3. 引我走上数论道路的是杨武之教授。4. 破格提我为助教的是郑桐荪教授(陈省身教授的岳父)。从英国回国,未经讲师、副教授而直接提我为正教授的又是杨武之教授。5. 熊庆来并没有到金坛去过。”

杨振宁和当代数学

——接受张奠宙访问时的谈话记录(1992)

本文作者为张奠宙。本文中文版原载台湾《数学传播》1992年4月;上海《科学》1992年4月。英文版刊于 Mathematical Intelligencer 1993年第15卷第4期。中文版与英文版内容不全相同。本文由张奠宙译自英文版。

杨振宁是本世纪的大理论物理学家之一,1957年以发现宇称不守恒与李政道共获诺贝尔物理学奖。但是,对数学家来说,杨振宁却以杨—米尔斯理论(Yang-Mills theory)和杨—巴克斯特方程(Yang-Baxter equation)而著称。可以说,杨振宁是继爱因斯坦和狄拉克之后,对数学的发展有最大影响的20世纪物理学家。1991年,我访问了杨振宁教授。本文根据该访问及杨振宁教授已出版的论著写成。

杨振宁和陈省身的早期交往

(张:)1922年,杨振宁出生于中国东部的一个中等城市——合肥。他的父亲杨克纯(Yang Ko-Chuen,又名杨武之)是北平清华大学教授,其后任复旦大学教授。杨武之于1928年在狄克逊(L.E.Dickson)指导下,以数论研究获芝加哥大学博士学位。他是把现代数学引入中国的先驱之一,教导过许多优秀的学生,其

中有两位最著名：华罗庚和陈省身。

张：您第一次见到陈省身教授是在什么时候？

杨：1930—1934年，陈教授在北平清华大学做研究生时，我父亲是清华数学系教授，但我不记得那时我们是否见过面。然而我却清楚记得首次见到陈夫人时的情景。那是在1929年10月初，她的父亲郑桐荪教授已在清华做了好几年教授，杨家则刚搬到清华。那时我只有7岁，在上小学。郑教授一家邀请我们到他家里吃饭。于是我第一次见到了"郑姊姊"。郑杨两家的关系一直十分密切。1939年，我父亲和母亲更撮合了陈教授与郑士宁女士的婚事，并且因此成为他们在昆明结婚时的介绍人。

张：1938—1942年间，您是清华大学物理系的学生，陈省身先生是否教过您？

杨：1937年陈教授学成回国。当时由于抗日战争，清华大学与北京大学、南开大学在昆明合并组成战时的国立西南联合大学，即西南联大。陈先生在西南联大教了六年书：1937—1943。他是一位极出色和受欢迎的教授。我则先在西南联大读学士课程，然后做研究生。西南联大的岁月在我脑海中留下了美好的回忆，当时所受的优良教育也令我终生感激。

在联大时，我可能曾听过好几门陈教授的课，但是翻查如今仍然保存的联大成绩单，发现我只在1940年秋季学期正式选修过他的微分几何学。当时我是物理系的三年级生。

张：这门课您有所得益吧？

杨：当然。不过我已不很记得上课的情形了，只有一件事印象很深，那就是怎样证明每个二维曲面都和平面有保角(conformal)变换关系。当时我知道怎样把度量张量化成 $A^2du^2+B^2dv^2$ 的形式，但是想了很久都想不出怎样能使 $A=B$。有一天陈教授告诉

我要用复变数，并写下 $cdz = Adu + iBdv$ 这个式子。学到这简单的妙诀，是我毕生难忘的经历。

张：您何时到达美国？

杨：1945 年 11 月。到美国后我想随费米或维格纳学物理。但我在哥伦比亚大学找不到费米，因为他在 1942 年前已离去。于是我去普林斯顿大学找维格纳，却发觉他下一年度休假，令我大为失望。幸而我听说费米将会到芝加哥一个新成立的研究所去，而这是我去芝加哥大学修读博士学位的缘由。

张：陈省身先生有一段很长的时间在芝加哥大学当教授。

杨：是的，但这是我 1949 年离开芝加哥后的事。陈先生在 1949 年初返回美国后，我们经常在普林斯顿、芝加哥和伯克利见面。

张：那时你们讨论过纤维丛吗？

杨：70 年代之前从未谈起过。我们早期的接触是非学术性的。我们谈论过很多数学家，却未讨论过数学。

1954 年杨振宁和米尔斯的论文

(张：)在昆明和芝加哥做研究生时，杨振宁已对规范不变性决定一切电磁相互作用的事实怀有深刻的印象。这课题能为人所知晓，是自韦耳、福克和伦敦在 1918—1929 年间所做的工作，以及后来泡利的评论文章开始的。但是到了 40 年代和 50 年代初，这一课题在物理学中仍然只占有一个微不足道的纯技术性的位置。在芝加哥，杨振宁试图把规范不变性推广到非交换群的情形(电磁场的规范群是交换群 $U(1)$)。类似于麦克斯韦方程，他尝试把场强 $F_{\mu\nu}$ 定义为：

$$F_{\mu\nu}=\frac{\partial B_{\mu}}{\partial x_{\nu}}-\frac{\partial B_{\nu}}{\partial x_{\mu}} \qquad (*)$$

这似乎是麦克斯韦电磁场方程的自然推广，但是“结果出现麻烦，不得不放弃”①。

1954年，杨振宁到纽约长岛的布鲁克海文国家实验室作访问研究时，再次回到推广规范不变性的想法上来。来自哥伦比亚大学获得博士学位的米尔斯也来该实验室做博士后，和杨振宁在同一办公室工作。杨振宁将非交换规范场的想法介绍给米尔斯，他们决定在(*)式的右端加上一个二次项，结果把一切“麻烦”都消除了，并引导出一种很漂亮的新场论。1954年夏天，他们向《物理评论》(*Physical Review*)提交了一篇论文。此论文在当年的10月发表，标题是《同位旋守恒和同位旋规范不变性》(Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance)②。关于这段时期，米尔斯后来写道：

> 我当时接受了一个博士后的工作，也在布鲁克海文，并与杨振宁在同一个办公室工作。……杨振宁当时已在许多场合中表现出了他对刚开始物理学家生涯的年轻人的慷慨，他告诉我关于推广规范不变性的思想，而且我们较为详细地作了讨论。我当时已有了有关量子电动力学的一些基础，所以在讨论中能有所贡献(特别是关于量子化的过程)，而且在计算它的表述形式方面也有小小的贡献，但是一些关键性的思想都是属于杨振宁的。③

张：我看过有报导说米尔斯当时在英国：

> 1954年，杨振宁在美国，米尔斯在英国，他们构造了一种涉及非交换群的麦克斯韦方程的非线性推广。④

杨：那是不正确的。1954年米尔斯确实在美国。后来他曾多次访问英国，但决不是1954年。

张：迈耶(M. E. Mayer)在1977年出版的一本书里曾这样

写道：

> 读一读杨和米尔斯的论文，觉得作者们已清晰地理解了规范势的几何意义。他们使用规范不变的导数和联络的曲率形式。事实上，这篇论文的基本方程，和用几何方法导出的方程完全一样……。[5]

迈耶认为你已清晰地理解了微分几何，是这样吗？

杨：不，不是这样。米尔斯和我在1954年所做的事，只是想推广麦克斯韦方程。我们并不知道麦克斯韦方程的几何意义，也没有朝那个方向去想。对物理学家来说，规范势是植根于我们对电磁场的描述，而联络是一种几何概念，是我于1970年前后才了解的。麦克斯韦方程原来具有很深的几何意义，是物理学家意想不到的新发现。

张：一个有趣的问题是，你在1954年是否理解这篇关于非交换规范场论的原始论文的巨大重要性。

杨：喔，恐怕不会。在1950年代，我们只觉得这篇文章很美妙。到了60年代，才觉察到它的重要性，及至70年代始晓得它对物理学是极为重要的。我要到1974年以后才清楚认识到它跟数学的关系。

张：众所周知，韦耳是交换规范理论的创始人，为什么在你们1954年的论文中没有提到他？

杨：在1940年代及1950年代，物理学家虽然知道韦耳曾经导出交换的规范不变概念，但大都只引用泡利的评论文章[6][7]。事实上，我那时并没有看过韦耳的任何论文。

张：你在普林斯顿见过韦耳吗？

杨：当然见过。1985年，我在苏黎世纪念韦耳百岁诞辰时的演讲中曾提到这件事：

当我在1949年成为普林斯顿高等学术研究所的一名年轻成员时，曾见过韦耳。此后的几年(1949—1955)内，我时常看到他。他很容易亲近，但我不记得曾和他讨论过物理学或数学问题。在物理学家中并未听说过韦耳一直对规范场有兴趣。奥本海默和泡利都从未提过。我猜想他们也没有将米尔斯和我1954年的论文介绍给韦耳。如果他们曾经这样做，又或者韦耳偶然发现了我们的论文，我想他一定会非常高兴和激动，因为我们把他极关注的两种东西放在一起：规范不变性和非交换李群。[8]

张：我从你的这篇有关韦耳的漂亮文章中，知道韦耳创立了中微子的二分量理论。

杨：是的。韦耳在1929年所写的论文中提出了此理论，但指出它与左右对称性不符，因此不能与现实有关。大约30年以后，即1956—1957年间，当发现左右对称性并不严格地被遵守的时候，韦耳的理论复活了。直至今日，这仍是有关中微子的正确理论。

顺带一提，韦耳去世2年之后，我和太太买了韦耳在普林斯顿的房子，并在那里住了9年之久：1956—1966。

张：当韦耳知道他的中微子理论获得证实时，有怎样的反应？

杨：韦耳不幸在1957年物理学发生巨大震荡之前两年去世了。1957年初，发现左右对称不被严格遵守(即宇称不守恒)后，韦耳的理论复活了，它和μ—衰变的实验极漂亮地相吻合。但此后的6个月物理界又陷入关于β—衰变的困惑，此问题与韦耳的中微子究竟是右旋还是左旋有关。到这年的秋天，出现了关于β衰变结构的V-A建议。到了12月，一个精巧的实验将一切问题都澄清了，其中包括韦耳中微子是左旋的结论。

(张：)韦耳比杨振宁长37岁，他们属于不同的学术世代，来自不同的国家，从事不同的学科。我们是否可以说韦耳是非常欣

赏物理的数学家，而杨振宁则是非常欣赏数学的物理学家？

杨—米尔斯理论与几何学

（张：）在杨振宁和米尔斯的原始论文发表之后，涉及规范理论的量子化和重整化，寻求杨—米尔斯方程的解的论文大量涌现，但只有少数人注意到规范理论的几何与拓扑意义，其中包括有曼德斯塔姆(S. Mandelstam, 1962)、卢布金(E. Lubkin, 1963)和卢斯(H. G. Loos, 1967)。此外，赫尔曼(R. Hermann)为物理学家写了一系列数学读物，其中有一部分也涉及规范场和几何的关系，不过这些工作似乎都没有什么大的影响。我于是向杨振宁先生询问他了解规范理论与几何学的关系的个人体验。

张：1954 年以后，你曾继续研究规范理论吗？

杨：是的，我一直在研究。在 1950 年代和 1960 年代，尽管物理学中还没有实际使用非交换规范场论，但是随着时间的推移，越来越多的人欣赏它的优美特性。例如在 1964 年，伊凡年科(D. Ivanienko)出版了一册辑录了 12 篇译成俄文的关于规范理论的论文集，这些论文的作者包括有杨振宁与米尔斯、李政道与杨振宁、樱井、盖尔曼(M. Gell-Mann)等等。我自己在整个 1950 年代，都在规范场的各个方面做工作，虽然并没有获得多少有用的结果。

到了 1960 年代末期，我开始用不可积相因子的方法重新建立规范场理论。有一学期，我正在讲授广义相对论，我注意到规范理论中的公式：

$$F_{\mu\nu}=\frac{\partial B_\mu}{\partial x_\nu}-\frac{\partial B_\nu}{\partial x_\mu}+i\epsilon(B_\mu B_\nu-B_\nu B_\mu) \tag{1}$$

和黎曼(G. F. B. Riemann)几何中的公式：

$$R^l_{ijk} = \frac{\partial}{\partial x^j}\begin{Bmatrix} l \\ ik \end{Bmatrix} - \frac{\partial}{\partial x^k}\begin{Bmatrix} l \\ ij \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} m \\ ik \end{Bmatrix}\begin{Bmatrix} l \\ mj \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} m \\ ij \end{Bmatrix}\begin{Bmatrix} l \\ mk \end{Bmatrix} \quad (2)$$

不仅十分相似，而且如果把二者的符号正确地等同起来，两个公式乃是完全一样的。当我理解到这一点时，我内心的震撼是难以形容的。

张：这是你第一次觉察到规范场理论和微分几何之间有密切联系吗？

杨：我早先曾注意到列维一西维塔(Levi-Civita)的平行移动和规范场中的不可积相因子之间的相似性，但我真正领略到二者间的精确联系，是当我认识到公式(1)与(2)是完全一样的时候。

怀着想弄通规范理论几何意义的想法，我向一位杰出的几何学家西蒙斯(J. Simons)请教。那时他是纽约州立大学石溪分校的数学系系主任。西蒙斯告诉我，规范理论一定和纤维丛上的联络有关。这之后，我试图从阅读斯廷罗德(N. E. Steenrod)的《纤维丛的拓扑学》(*The Topology of Fibre Bundles*)这类书去了解纤维丛理论，但却一无所获。现代数学语言对物理学家而言实在太乏味，太抽象了。

张：我想，只有数学家才会欣赏今日的数学语言。

杨：我告诉你一个有关的故事。大约10年前，我在韩国的汉城作演讲，即兴开个玩笑说："现今只有两类现代数学著作。一类是你看完了第一页就不想看下去了，另一类是你看完了第一句话就不想看下去了。"后来《数学传使》(*Mathematical Intelligencer*)杂志把我这个玩笑刊登出来。但是我猜想很多数学家都同意我的看法。

张：你在什么时候，弄懂了纤维丛理论？

杨：1975年初，我邀请西蒙斯教授给我们作一系列有关微

分形式和纤维丛理论的午餐演讲，他欣然接受了这一邀请。于是我们学到了德·拉姆(de Rahm)定理、微分形式、修补(Patching)等等。这些演讲非常有用，使我们理解了阿哈罗诺夫—博姆实验、狄拉克量子化规则和磁单极的数学意义。曹宏生和我后来还弄懂了美妙的陈省身—韦尔定理(Chern-Weil Theorem)。回想起来，正是这些演讲，使我理解了过去理解得不甚清楚的流形概念。

杨振宁—辛格—阿蒂亚

(张：)西蒙斯的演讲促使吴大峻(T. T. Wu)和杨振宁写了一篇著名的论文：《不可积相因子概念和规范场的大范围表示》[⑨]。在这篇论文里，他们分析了电磁场的内蕴涵义，特别强调了它的整体拓扑性质。他们讨论了阿哈罗诺夫—博姆实验，以及狄拉克磁单极的数学意义。他们还展示了如下的一张对照表：

规　范　场　术　语	丛　的　术　语
规范(或球面规范)	主坐标丛
规范型	主纤维丛
规范势 b_μ^K	一个主纤维丛上的联络
S_{ba}	转移函数
相因子 Φ_{QP}	平移
场强 $f_{\mu\nu}^K$	曲率
源* J_μ^K	?
电磁学	$U_1(1)$丛上的联络
同位旋规范场	SU_2丛上的联络
狄拉克磁单极量子化	$U_1(1)$丛按第一陈类分类
无磁单极电磁学	平凡的$U_1(1)$丛上的联络
带磁单极电磁学	非平凡的$U_1(1)$丛上的联络

* 即电源，是广义化的电荷和电流概念。

半年后，即 1976 年夏天，麻省理工学院的数学教授辛格（I. M. Singer）来纽约州立大学石溪分校访问，并和杨教授作了很详细的讨论。辛格在大学里原是学物理的，1940 年代转入数学系做研究生。他在 1985 年时这样写道：

> 30 年后，我发觉自己在牛津大学讲规范场理论，自吴大峻和杨振宁的一张对照表讲起，结果是得到了瞬子，即杨—米尔斯方程的自对偶解。做了 30 年的数学，似乎我又回到物理学了。[10]

为了阐述过去 10 年的发展，辛格在 1985 年的这篇文章里引用了吴—杨的对照表。

1977 年 4、5 月间，一份由阿蒂亚（M. F. Atiyah）、希钦（N. J. Hinchin）及辛格合著的预印本被广泛传阅[11]。在这篇文章里，阿蒂亚—辛格的指标定理被应用到自对偶规范场上去，由此而引发了许多数学家对规范场的兴趣。

1979 年阿蒂亚出版了一个专题研究报告，题目为《杨—米尔斯场论的几何学》（Geometry of Yang-Mills Fields）[12]。他的《论文选集》第五卷以“规范场理论”为副题。在杨振宁石溪的办公室的书架上，我发现了一册有阿蒂亚签名的第五卷。在前言中，阿蒂亚写道：

> 从 1977 年开始，我的兴趣转向规范场理论以及几何学和物理学间的关系。一直以来，我对理论物理的兴趣不大，大多数的冲激都是来自跟麦凯（Mackey）的冗长讨论。1977 年的动因来自两方面：一是辛格告诉我，由于杨振宁的影响，杨—米尔斯方程刚刚开始向数学界渗透。当他在 1977 年初访问牛津时，辛格、希钦和我周密地考察了杨—米尔斯方程的自对偶性，我们发现简单应用指标定理，就可得出关于“瞬子”参数个数的公式。另一个动因则来自彭罗斯（R. Penrose）和他的小组。[13]

张：在对照表中，你们为什么留下一个问号？

杨：因为那时数学家未曾探究过对物理学家十分熟悉而且重要的概念：源(Source)，通常用J表示。在用库仑和安培定律建立的麦克斯韦理论中，这是一个关键概念。用现代数学记号来写，则是：

$$* D * f = J = \text{源}$$

在“无源”的情形，则可写成：

$$D * f = 0$$

当 $f = \pm * f$ 时，此式能够满足，而正因如此引致许多物理学家和数学家走向自对偶规范场的研究。

张：这是一个极为有趣的故事。自对偶规范场的研究后来导致许多优美的数学，包括获得菲尔兹数学奖的唐纳森的工作(下面还会提到)。

杨：是的，这一故事正好提供了一个现代的例子，就是数学家可以从物理学衍生某些概念，这其实在几个世纪以前是很普遍的，不幸的是现在很少见了。

张：有些数学概念对物理学也会变得重要，你有什么意见？我们会想起爱因斯坦曾被劝告去注意张量分析，这和你从西蒙斯那里得到帮助是否类似？

杨：爱因斯坦有博大精深和令人惊叹的洞察力，不宜将后人和他比拟。至于数学渗入广义相对论和规范场理论的过程是全然不同的。就前者而言，爱因斯坦没有黎曼几何就不可能写出广义相对论方程；就后者而言，规范场论的方程早已写出来了，但后来是透过数学才了解其深意。

张：曾有许多学者早就指出，规范场论和纤维丛理论密切相

关，为什么他们的论文没有像你们的论文在数学界产生同样的影响？

杨：这可能有许多因素。有些工作太形式化，以致物理学家不能理解它究竟说了些什么；有些由于物理内容没有被充分揭示，使得数学家觉得太微不足道。至于吴大峻和我在1975年所写的论文，内里关于阿哈罗诺夫—博姆实验以及狄拉克磁单极的讨论，都有助于吸引人们的注意。当然那张对照表也很有用。

张：你和辛格、阿蒂亚有过科学交往吗？

杨：我多次见到他们，不过从未进行过科学合作。

杨振宁—巴克斯特方程

（张：）杨振宁向数学提供的另一重要数学结构是杨—巴克斯特方程，这方程是由他在统计力学的工作而引起的。

1967年，杨振宁试图找出在δ函数相互作用下，一维费米子多体问题的本征函数。这是一个相当困难的问题。他在求解过程中，揭示出以下的一个矩阵方程乃是关键的一步：

$$A(u)B(u+v)A(v)=B(v)A(u+v)B(u) \quad (**)$$

数年之后，巴克斯特在解另一个物理问题——8顶点模型时[15]，再次用到矩阵方程（**）。此后有好几个研究中心皆朝这两个发展方向进行研究，尤其是苏联，更集中了人力去研究。1980年，法捷也夫（L. D. Faddeev）采用了“杨—巴克斯特关系”或“杨—巴克斯特方程”这名词。时至今日，这一命名已被广泛接受。

最近六七年以来，数学和物理学上许多激动人心的进展表明，杨—巴克斯特方程是与多种多样数学分枝有关的一项基本数学结构，这些分枝包括：纽结和辫结理论、算子理论、霍普夫（H. Hopf）代数、量子群、三维拓扑、微分方程的单值化等等。就这些

题目而发表的工作造成文献爆炸[16]—[18]。

张：杨—巴克斯特方程不过是一个简单的矩阵方程，为何会有那么大的重要性呢？

杨：在最简单的情况下，该方程可写为：

$$ABA = BAB$$

这是关于辫群的阿丁(Artin)基本方程。显然，打辫子乃是一系列置换的历史记录。我们也不难理解，许多数学和物理学问题与一连串置换的历程有密切关系。

从近六七年的进展来看，我感到杨—巴克斯特方程将是继雅科比(W.G.J. Jacobi)恒等式之后最基本的代数方程。所谓雅科比恒等式是指：

$$C_{ab}^{i}C_{ic}^{j} + C_{ca}^{i}C_{ib}^{j} + C_{bc}^{i}C_{ia}^{j} = 0$$

大家都知道，研究雅科比等式，是整个李代数理论以及与之相关的李群理论的起点。

张：杨—巴克斯特方程对数学的影响，似乎比对物理学的影响更大。

杨：目前是如此。实际上有些物理学家认为杨—巴克斯特方程是纯数学，我认为这看法将会改变。杨—巴克斯特方程是一个基本结构，无论物理学家是否喜欢，最终必然要使用它。20 年代许多物理学家称群论为“群害”(group pest)。这种观念一直持续到 30 年代，但此后就消失了。

1986 年和 1990 年的菲尔兹数学奖

(张：)杨—米尔斯理论和杨—巴克斯特方程，两者都在当今核心数学中占重要位置，从 1986 年和 1990 年的菲尔兹数学奖的

颁发就可以看出这一点。

唐纳森在1986年于伯克利举行的国际数学家大会上获得菲尔兹奖。阿蒂亚这样介绍唐纳森的工作：

> 如果和费雷德曼(Freedman)的一项重要工作合在一起，唐纳森的结论意味着：存在一个“怪异”的四维空间，它和标准的欧氏空间拓扑等价，但不和微分拓扑等价。……唐纳森的结果来自理论物理中杨—米尔斯方程，而这方程是麦克斯韦方程的非线性推广。[19]

1990年的国际数学家大会有四位菲尔兹奖获奖者：德林菲尔德(V. Drinfeld)、琼斯(V. F. R. Jones)、森重文(S. Mori)、威滕(E. Witten)。他们之中有三人的工作和杨—米尔斯或杨—巴克斯特方程有关。以下的引文摘自1990年在京都举行的国际数学家大会上的报告：

> 我们要提到德林菲尔德和马宁(Manin)在构造瞬子中的先驱性工作。这些是杨—米尔斯方程的解……德林菲尔德在物理学上的兴趣，继续保持在杨—巴克斯特方程的研究上。[20]
>
> 琼斯认识到在某些条件下，杨—巴克斯特方程可用来构造连接(links)的一些不变量，从而打开了一个新的方向。……量子群理论，非交换霍普夫代数，被神保道夫(M. Jimbo)和德林菲尔德用来产生杨—巴克斯特方程的解。[21]
>
> 威滕用这些术语描述了唐纳森和福洛尔(Floer)的不变量(早先阿蒂亚想法的推广)，并且将琼斯的纽结多项式推广到任意的环绕三维流形上。[22]

我也颇有兴味地注意到，对京都国际数学家大会上的大会报告过分倾向于数学物理有过一些抱怨：

到处都是听到量子群，量子群，量子群！[23]

数学和物理

张：为什么你在物理学上的工作会对数学产生这么大的影响呢？

杨：这是个很难回答的问题。幸运是因素之一。除此之外，以下两点可能有关。第一，如果你选择去做原始的问题，你就有较大机会接触到数学的基本结构。其次，你必须对数学的价值观有某一程度的欣赏。

张：请对第一点作进一步说明。

杨：理论物理中的好多文章是这样产生的：A 发表了一篇论文阐述他自己的理论。B 说他能改进 A 的论文。后来 C 指出 B 的理论是错误的等等。可是最后却往往发现 A 的原始概念是完全错的，或者根本没有意义。

张：数学界同样有类似的情形。

杨：不，不，情况极不相同。数学定理都是被证实过的，或被认为是证实过的。在理论物理界，我们像是在做猜谜游戏，而大多数猜测又往往是错的。

张：不过，读最新的文献总是必要的。

杨：那当然对，了解你从事的领域中别人在想些什么，当然是重要的，但是要取得实质性的进展，就必须面对原始的简单的物理问题，而不是别人的猜想。

张：你和米尔斯在 1954 年正是这样做吗？

杨：是的，我们问自己："我们能否把麦克斯韦方程加以推广，从而得到粒子相互作用的一般法则呢？"

张：那么杨—巴克斯特方程又是怎么一回事呢？你在 1967 年探讨的并不是一个物理学的基本重要问题。

杨：你说得对，但是我是在探究量子力学里一个最简单的数学问题：具有最简单相互作用的一维费米子的系统。

张：为什么你强调"最简单"？

杨：因为问题越简单，你的分析工作就越可能接近某些基本的数学结构。让我用以下的例子来阐明一下。

假如象棋与围棋中有一者被发现具有一以数学为基础的必胜策略（winning strategy），那么那一定是围棋，因为围棋是较简单、较基本的棋类游戏。

张：请你再谈谈第二点成功秘诀。

杨：许多理论物理工作者在某些方面对数学有抗拒，或者有贬低数学的价值的倾向。我不同意这种态度，我曾这样写道：

> 也许因为受我父亲的影响，我较为欣赏数学。我欣赏数学家的价值观，我赞美数学的优美和力量：它有战术上的机巧与灵活，又有战略上的雄才远虑。而且，奇迹的奇迹，它的一些美妙概念竟是支配物理世界的基本结构。①

张：你父亲对你有哪些数学影响？

杨：举例来说罢。当我还是中学生的时候，就从父亲那里接触到群论的基础原理，也常常被父亲书架上一本斯派塞（A. Speiser）的关于有限群的书中的美丽插图所迷住。当我写大学毕业论文时，父亲建议我读一读狄克逊的一本名叫《现代代数理论》（*Modern Algebraic Theories*, 1926）的小书，其中有短短 20 页的一章介绍了特征标理论的要点。这一章的优美和威力使我认识到群论的无与伦比的美妙和力量。

张：据说你曾经当过数学教师，而且杨夫人就是你授课班上的学生。

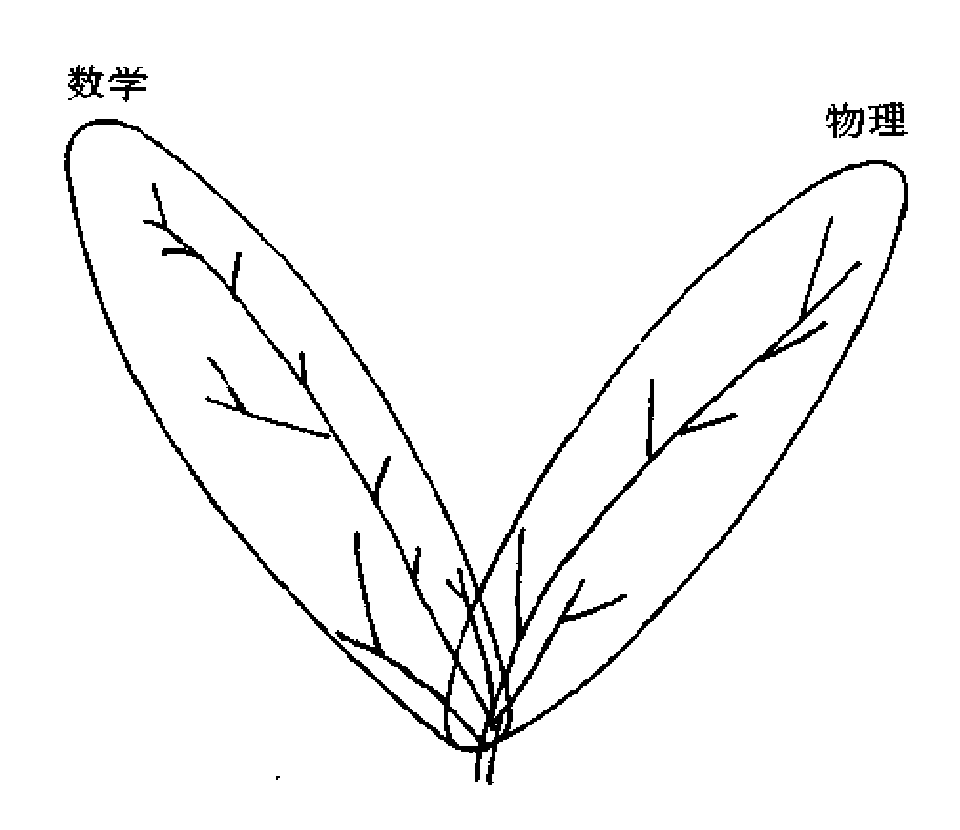
杨：是的。我曾在 1944—1945 年间，在昆明的一所中学里

教数学,她是我班上的一个学生。但在那时我们并不熟识。好几年之后,我在普林斯顿和她巧遇。教数学是一桩有趣的经历,不过这跟我对数学的态度并没有关系。

张:你认为物理学家多学一些数学是否重要?

杨:不,如果一个物理学家学了太多的数学,他或她将有可能被数学的价值观念所吸引,并因而丧失了自己的物理直觉。我曾把数学和物理之间的关系比喻为一对树叶,它们只在基部有很小的共有部分,而其余大部分是分开的:

> 它们具有自己的目标和截然不同的价值观,以及不同的传统。在基本概念的层面,它们令人惊讶地共享某些概念,但是即使在那里,两个学科仍按各自的脉络生长着。(见下图)



张:对物理学家来说,学习实验结果是否更重要?

杨:是的。

张:你曾和许多数学家有过交往吗?

杨：有一些。当李政道和我在1951年研究后来被称为"单位圆定理"的时候，纽曼（J. von Neumann）和塞尔伯格（A. Selberg）曾建议我们去读哈代（G. Hardy）、李特尔屋德（Littlewood）和普利亚（G. Polya）的著作《不等式》。1965年，惠特尼（H. Whitney）曾经向我的弟弟杨振平和我讲解指标的拓扑概念。为了求解维纳—霍普夫（Weiner-Hopf）方程，卡斯（M. Kac）要我们读克雷因（M. G. Krein）有关这一课题的长篇评论。到了1970年代，我曾和上海复旦大学以谷超豪为首的数学小组进行合作。除了这里提到的以及西蒙斯的讲座之外，我还得益于和普林斯顿波莱尔（A. Borel）的交往，也得益于纽约州立大学石溪分校数学系的同事：道格拉斯（R. Douglas）、格罗莫夫（M. Gromov）、克拉（I. Kra）、劳森（B. Lawson）、萨之汉（C. H. Sah）和其他人。

张：你和陈省身有很多的交往吗？

杨：如上所述，我早年在中国曾选修过他讲授的微分几何课，也可能旁听过他的其他课程。我们在1949年及以后的几年曾多次见面，但未曾深谈数学。在1950年代我已听说过陈氏级（Chern class）的重要性，但并不知道它的奥妙。

只是到了1975年，当西蒙斯在石溪的理论物理研究所作一系列演讲时，我终于明白了纤维丛和在其上的"联络"的基本概念。经过一番努力，我也终于明白了最基本的陈省身—韦尔定理。

我在懂得这深奥美妙的定理后，真有触了电的感觉。这个感受，犹胜于在60年代了解韦耳计算群表示（representation）的特征标和彼得—韦耳（Peter-Weyl）定理之后的喜悦。为什么呢？可能是因为陈—韦尔定理更"几何"一点吧。

而且，感受并不止于此。还有更深的，更触及心灵深处的地方：到头来忽然间领悟到，客观的宇宙奥秘与纯粹用逻辑及优美

这些概念发展出来的数学观念竟然完全吻合，那真是令人感到悚然。关于这个感受我曾写过：

> 在1975年，明白了规范场和纤维丛理论的关系之后，我开车到陈省身教授在伯克利附近的艾尔塞雷托（El Cerrito）寓所。……我说，物理学的规范场正好是纤维丛上的联络（connection），而后者是在不涉及物理世界的情况下发展出来的，这实在令我惊异。我还加了一句："这既使我震惊，也令我迷惑不解，因为你们数学家凭空梦想出这些概念。"他当时马上提出异议："不，不。这些概念不是梦想出来的。它们是自然的，也是实在的。"①

参考文献：

① C.N. Yang, *Selected Papers, 1945—1980, with Commentary*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1983.

② C.N. Yang and R.L. Mills, "Conservation of isotopic spin and isotopic gauge invariance", *Phys. Rev.* 96(1954), 191—195.

③ R. Mills, "Gauge fields", *Am. J. Phys.* 57(1989), 493—507,《自然杂志》(上海), 10卷8期(1987), 563—577。

④ P. A. Griffith, "Mathematical sciences: A unifying and dynamical resource—Report of the Panel on Mathematic Sciences, initiated by the National Research Council", *Notices AMS* 33(1986), 463.

⑤ M. E. Mayer, *Fibre Bundle Techniques in Gauge Theories*, Lecture Notes in Physics No.67, Springer-Verlag, Berlin, 1977, p.2.

⑥ W. Pauli, *Handbuch der Physik*, 2nd ed. (Geiger and Scheel, 1933) Vol. 24(1), p.83.

⑦ W. Pauli, *Reviews of Modern Physics* 13, 203(1941).

⑧ C. N. Yang, "Herman Weyl's contributions to physics", in *Herman Weyl (1885～1955)*. Springer-Verlag, Berlin, 1985.

⑨ T.T. Wu and C.N. Yang, "Concept of nonintegrable phase factors and global formulation of gauge fields", *Phys. Rev.* D12(1975), 3845—3857.

⑩ I.M. Singer, "Some problems in the quantization of gauge theories and string theories," Proc. Symposia in Pure Math. 48(1988), 198—216.

⑪ M.F. Atiyah, N.J. Hinchin, and I.M. Singer, "Self-duality in four-dimensional Riemann geometry", *Proc. Roy. Soc. London Ser. A*, 362 (1978), 425—461.

⑫ M. F. Atiyah, *Geometry of Yang-Mills Fields*, Scuola Normale Superiore, Pisa, 1977.

⑬ M.F. Atiyah, *Collected Works, Vol. 5. Gauge Theories*. Cambridge University, Press, Cambridge, England, 1988, p. 1.

⑭ C. N. Yang, "Some exact results for the many-body problem in one dimension with repulsive delta-function interaction", *Phys. Rev. Lett.* 19(1967), 1312—1315.

⑮ R. J. Baxter, "Partition function of the eight-vertex lattice model", *Ann. Phys.* 70(1972), 193—228.

⑯ M. Barber and P. Pearce, eds., *Yang-Baxter Equations, Conformal Invariance and Integrability in Statistical Mechanics and Field Theory*, World Scientific, Singapore, 1990.

⑰ M. Jimbo, ed., *Yang-Baxter Equation in Integrable Systems*, World Scientific, Singapore, 1990.

⑱ C.N. Yang and M.L. Ge, eds., *Braid Group, Knot Theory and Statistical Mechanics*, World Scientific, Singapore, 1989.

⑲ M.F. Atiyah, "The work of Donaldson", *Notices AMS* 33(1986), 900.

⑳ A. Jaffe and B. Mazur, "Vladimir Drinfeld", *Notices AMS* 37(1990), 1210.

㉑ R.H. Hermann, "Vaughan F. R. Jones", *Notices AMS* 37(1990), 1211.

㉒ K. Galwedzki and C. Soule, "Edward Witten", *Notices AMS* 37(1990),

1214.

㉓ *Mathematical Intelligencer*, vol.9(1991), no.2, 7.

附:杨振宁谈数学和物理的关系

本文写于1995年,作者为华东师范大学张奠宙教授。

杨振宁是当代的大物理学家,又是现代数学发展的重要推动者。他的两项巨大成就:杨—米尔斯规范场和杨—巴克斯特方程,成为80年代以来一系列数学研究的出发点,其影响边及微分几何、偏微分方程、低维拓扑、辫结理论、量子群等重大数学学科。笔者曾在《杨振宁与当代数学》的访谈录中有过较为详细的介绍。这里记录的有关数学与物理学的关系,来自笔者在1995年末在纽约州立大学(石溪)访问杨振宁先生时的一些谈话材料。

一、有关数学的两则"笑话"

1980年代初,杨振宁曾在韩国汉城作物理学演讲时说,"有那么两种数学书:第一种你看了第一页就不想看了,第二种是你看了第一句话就不想看了。"当时引得物理学家们哄堂大笑。此话事出有因,1976年,杨振宁察觉物理上的规范场理论和数学上的纤维丛理论可能有关系,就把著名拓扑学家Steenrod著的《The Topology of Fibre Bundles(纤维丛的拓扑学)》① 一书拿来读,结果是一无所获。原因是该书从头至尾都是定义、定理、推论

式的纯粹抽象演绎，生动活泼的实际背景淹没在形式逻辑的海洋之中，使人摸不着头脑。

上述汉城演讲中那句话本来是即兴的玩笑，不能当真的。岂料不久之后被《Mathematical Intelligencer》捅了出来，公之与众。在数学界当然会有人表示反对，认为数学书本来就应该是那样的。不过，杨振宁先生说："我相信会有许多数学家支持我，因为数学毕竟要让更多的人来欣赏，才会产生更大的效果。"

我想，杨振宁是当代物理学家中特别偏爱数学，而且大量运用数学的少数物理学者之一。如果连他也对某些数学著作的表达方式啧有烦言，遑论其他的物理学家？更不要说生物学家、经济学家、一般的社会科学家和读者了。

另一则笑话，可在波兰裔美国数学名家 S. M. Ulam 的自传《一个数学家的遭遇》(Adventures of a mathematician)[②]中读到。该书第 294 页上写道：

> 杨振宁，诺贝尔物理学奖获得者，讲了一个有关现时数学家和物理学家间不同思考方式的故事：
>
> 一天晚上，一帮人来到一个小镇。他们有许多衣服要洗，于是满街找洗衣房。突然他们见到一扇窗户上有标记："这里是洗衣房"。一个人高声问道："我们可以把衣服留在这儿让你洗吗？"窗内的老板回答说："不，我们不洗衣服。"来人又问道："你们窗户上不是写着是洗衣房吗。"老板又回答说："我们是做洗衣房标记的，不洗衣服。"这很有点像数学家。数学家们只做普遍适合的标记，而物理学家却创造了大量的数学。

杨振宁教授的故事是一则深刻的寓言。数学圈外的人们对数学家们"只做标记，不洗衣服"的做法是不赞成的。数学家 Ulam在引了杨振宁的"笑话"之后，问道，信息论是工程师 C.

Shannon 创立的，而纯粹数学家为什么不早就建立起来？他感叹地说："现今的数学和 19 世纪的数学完全不同，甚至百分之九十九的数学家不懂物理。然而有许许多多的物理概念，要求数学的灵感，新的数学公式，新的数学观念。"

二、理论物理的"猜"和数学的"证"

1995 年 12 月，杨振宁先生接到复旦大学校长杨福家的来信，请杨振宁在 1996 年 5 月到复旦为"杨武之讲座"做首次演讲。杨武之教授是杨振宁的父亲，又是我国数学前辈，早年任清华大学数学系系主任多年，50 年代后则在复旦大学任教授。所以杨振宁很愉快地接受了邀请。但是他不能像杨福家校长要求的那样做 20 次演讲，只准备讲三次。顺着这一话题，杨振宁先生又谈了理论物理和数学的一些关系。

杨先生说："理论物理靠的是'猜'，而数学讲究的是'证'。理论物理的研究工作是提出'猜想'，设想物质世界是怎样的结构，只要言之成理，不管是否符合现实，都可以发表。一旦'猜想'被实验证实，这一猜想就变成真理。如果被实验所否定，发表的论文便一钱不值(当然失败是成功之母，那是另一层意思了)。数学就不同，发表的数学论文只要没有错误，总是有价值的。因为那不是猜出来的，而有逻辑的证明。逻辑证明了的结果，总有一定的客观真理性。"

"正因为如此，数学的结果可以讲很长时间，它的结果以及得出这些结果的过程都是很重要的。高斯给出代数学基本定理的五种证明，每种证明都值得讲。如果让丘成桐从头来讲卡拉比(Calabi)猜想的证明，他一定会有 20 讲。但是要我讲'宇称不守恒'是怎么想出来的，我讲不了多少话。因为当时我们的认识就是朝否定宇称守恒的方向想，'猜测'不守恒是对的。根据有一

些，但不能肯定。究竟对不对，要靠实验。”

杨先生最后说：“理论物理的工作好多是做无用功，在一个不正确的假定下猜来猜去，文章一大堆，结果全是错的。不像数学，除了个别错的以外，大部分都是对的，可以成立的。”

杨先生的这番话，使我想起不久前 Quine 和 Jaffe 的一篇文章③，发表于 Bulletin of AMS，1993 年 8 月号，曾引起相当的轰动。该文的主题是问“猜测数学”是否允许存在？其中提到，物理学已经有了分工，理论物理做“猜测”，实验物理做“证明”。但是数学没有这种分工。一个数学家，既要提出猜想，又要同时完成证明。除了希尔伯特那样的大人物可以提出 23 个问题，其猜想可以成为一篇大文章之外，一般数学家至多在文章末尾提点猜想以增加读者的兴趣，而以纯粹的数学猜想为主干的文章是无处发表的。因此，两位作者建议允许“理论数学”，即“猜测数学”的存在。

这样一来，现在有两种相互对立的看法。一方面，物理学界中像杨振宁先生那样，觉得理论物理的研究太自由，胡乱猜测皆成文章，认为数学还是比较好的。另一方面，数学界如 Quine 和 Jaffe 那样，觉得目前数学研究要求每个结论都必需证明的要求，太束缚人的思想，应该允许人们大胆地猜测，允许有根据，但未经完全确认的数学结论发表出来。二者孰是孰非，看来需要一个平衡。许多问题涉及哲学和社会学层面，就不是三言两语可以解决的了。

三、复数、四元数的物理意义

虚数 $i=\sqrt{-1}$ 的出现可溯源于 15 世纪时求解三次方程，但到 18 世纪的欧拉时代，仍称之为“想象的数”(imaginary)。数学界正式接受它要到 19 世纪，经 Cauchy, Gauss, Reimann, Weierstrass 的努力，以漂亮的复变数函数论赢得历史地位。至于在物

理学领域，一直认为能够测量的物理量只是实数，复数是没有现实意义的。尽管在19世纪，电工学中大量使用复数，有复数的电动势，复值的电流，但那只是为了计算的方便。没有复数，也能算出来，只不过麻烦一些而已。计算的最后结果也总是实数，并没有承认在现实中真有“复数”形态的电流。

鉴于此，杨振宁先生说，直到本世纪初，情况仍没有多少改变。一个例证是创立量子电动力学的薛定谔(Schrödinger)[4]，1926年初，据考证，他似乎已经得到现在我们熟悉的方程

$$ih \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H \quad (x, t) \tag{1}$$

其中含有虚数单位 i，是复函数，但最后总是取实部。薛定谔因其中含有虚数而对(1)不满意，力图找出不含复数的基本方程。于是，他将上式两面求导后化简，得到了一个没有虚数的复杂的高阶微分方程：

$$-h^2 \ddot{\Psi} = H^2 \Psi. \tag{2}$$

1926年的6月6日，薛定谔在给洛伦兹的一封长信中，认为这一不含复数的方程(2)“可能是一个普遍的波动方程”。这时，薛定谔正在为消除复数而努力。但是，到了同年的6月23日，薛定谔领悟到这是不行的。在论文[5]中，他第一次提出：“是时空的复函数，并满足复时变方程(1)。”并把(1)称谓真正的波动方程，其内在原因是，描写量子行为的波函数，不仅有振幅大小，还有相位，二者相互联系构成整体，所以量子力学方程非用复数不可。另一个例子是H.Weyl在1918年发展的规范理论，被爱因斯坦拒绝接受，也是因为没有考虑相因子，只在实数范围内处理问题。后来由Fock和London用加入虚数 i 的量子力学加以修改，Weyl的理论才又重新复活。

牛顿力学中的量全都是实数量，但到量子力学，就必须使用复数量。杨振宁和米尔斯在 1954 年提出非交换规范场论，正是注意到了这一点，才会把 Weyl 规范理论中的相因子推广到李群中的元素，完成了一项历史性的变革[6]。

1959 年，Aharanov 和 Bohm 设计一个实验，表明向量势和数量势一样，在量子力学中都是可以测量的，打破了“可测的物理量必须是实数”的框框[7]。这一实验相当困难，最后由日本的 Tonomura 及其同事于 1982 和 1986 先后完成[8]。这样，物理学中的可测量终于扩展到了复数。

令我惊异的是，杨振宁教授预言，下一个目标将是四元数进入物理学。自从 1843 年爱尔兰物理学家和数学家 Hamilton 发现四元数之后，他本人曾化了后半辈子试图把四元数系统，像复数系统那样地广泛运用于数学和物理学，开创四元数的世纪。但结果是令人失望的。人们曾评论这是“爱尔兰的悲剧”[9]。时至今日，一个大学数学系的毕业生可能根本不知道有四元数这回事，最多也不过是非交换代数的一个例子而已。我还记起，1986 年春，钱学森在致中国数学会理事长王元的一封信中，曾建议多学计算机知识，而把研究“四元数解析”(复变函数论的推广)的工作贬为“像上一个世纪”东西。总之，我和许多数学工作者一样，认为四元数发现，只不过是“抽象的数学产物”，不会有什么大用处的。

杨振宁向我解释了他的想法：“物理学离不开对称。除了几何对称之外，还有代数对称。试看四元数 $a+bi+cj+dk$，其基本单位满足 $i=j=k=-1$，而 $ij=k, jk=i, ki=j; ij=-ji, jk=-kj, ki=-ik$。像这种对称的性质在物理学中经常可以碰到。问题是有哪些基本的物理学规律非用四元数表示不可？现在似乎还没有出现。最近，丘成桐等人的文章[10]说，我在 1977 年发表的一篇

文章——Condition of Self-duality for SU(2) gauge fields on Euclidean four-dimensional space[11]，曾推动代数几何中稳定丛的解析处理的理论。我还没有问过数学家，不知道这是怎么一回事。许多工作，包括运用四元数表示的物理理论，也许会在这种交流中逐步浮现的。"

杨振宁先生又说，至于将复变函数论形式地推广到四元数解析理论，由于四元数乘积的非交换性，导数无法唯一确定，所以不会有什么好结果出来。现在也有物理学家写成著作，用四元数来描写现有的物理定律，就没有引起什么注意。将来要用四元数表达的物理定律，一定会是一组非线性微分方程组，其解的对称性必需用四元数来表示。所以，杨先生相信："爱尔兰的悲剧是会变成喜剧的"。

四、"双叶"比喻

数学和物理学的关系，应该是十分密切的。在数学系以外的课程中，物理系开设的数学课最多最深。"物理学公理化、数学化"，曾是一个时期许多大学问家追逐的目标。不过，擅用数学于物理的杨振宁教授却认为二者间的差别很大，他有一个生动的"双叶"比喻，来说明数学和物理学之间的关系。他认为数学和物理学像一对"对生的"树叶，他们只在基部有很小的共有部分，多数部分则是相互分离的。杨振宁先生解释说："它们有各自不同的目标和价值判断准则，也有不同的传统。在它们的基础概念部分，令人吃惊地分享着若干共同的概念，即使如此，每个学科仍旧按着自身的脉络生长着。"[12]

参考文献：

① Steenrod: *The Topology of Fibre Bundles*, Princeton University Press

1951

② S. M. Ulam: *Adventures of a Mathematician*. Charles Scribner's Sons, New York. 1976.

③ Quine and Jaffe: Theoretical Mathematics: Toward a Cultural Synthesis of Mathematics and Theorectical Physics. Bulletin of Amer. Math. Soc, vol 29 (1993), 1—13.

④ 杨振宁：-1的平方根，复相位与薛定谔——在英国帝国大学纪念薛定谔诞辰100周年大会上的演讲，1987。收入《读书教学再十年》，时报出版社，1995，pp. 41—56。

⑤ Schrödinger, E Ann. D. Phys. 81.(109)(received June 23)

⑥ C. N. Yang and R. L. Mills: Conversation of isotopic spin and isotopic gauge invariance". *Phys*. *REv*. 96(1954), 191—195.

⑦ Y. Aharonov and D. Bohm, *Phys*. *Rev*. 115(1959)485.

⑧ A. Tonomura et al., *Phys*. *Rev*. Lett. 48(1982) 1443; 56(1986) 792.

⑨ E. T. Bell: Men of Mathematics. Dover Publications, New York. 1937.

⑩ J. A. Smoller, A. G. Wasserman, S. T. Yau: Einstein-Yang/Mills Black Hole Solutions. 〈Chen Ning Yang—A Great Physicist of the Twentieth Century〉. International Press. Hong Kong. 1995. pp. 209—221.

⑪ C. N. Yang: Condition of Self—duality for SU(2) gauge fields on Euclidian four—dimensional space. Phys. Rev. Lett. 38, 1977. pp. 1377—1379.

⑫ C. N. Yang Selected Papers. 1945—1980, with Commentary. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1983.

关于神童

本文作者为张奠宙。1991年5月22日，张奠宙在纽约州立大学访问时，曾向杨振宁教授提出有关“神童”的问题，这是当时的谈话记录。

张：一个时期以来，中国大陆有一股“神童”热。继中国科技大学招收“少年班”之后，许多地方都在仿效。报刊不断报道发现“神童”。父母都希望自己的孩子是“神童”。听说您是当年清华园的神童，不知您对这个问题的看法如何？

杨：我不主张把十来岁的少年送到大学里去学习科学。科学不像体操、音乐那样，需要学得很早很快。研究科学只靠熟练的技能技巧不行，而要具备深刻的洞察力和成熟的思想。天才少年已经学得比别的孩子快了，为父母者为什么还要逼孩子学得更快呢？

大学并不是适合少年学习的环境。孩子们有自己的“社交圈”，自己的“生活需求”，自己的“思维方式”。把他们置身于成人环境，给他们的心理压力是非常大的，我们不能拔苗助长。听说中国科技大学已停止招收15岁以下的少年入学，大约也是出于这层考虑。

我建议大家去读一读著名数学家维纳(Nobert Wiener)的自传体小说：《昔日神童》(EX-PRODIGY—my childhood and

youth)。在该书第十章中，曾记载有5名神童进入哈佛大学，一位早逝；一位11岁进入哈佛的神童，因不堪家庭、新闻报道带给他的压力，后来成了一个心理失常者，悲惨地过了一生；第三位是一名音乐家；第四位是一著名的法学家；第五位就是维纳本人。他在书中写道："一个早熟的儿童在智能上预支了他一生的精力资本，因而注定是要早失败的。即使他不靠救济过活，不进疯人院，也注定他只是二流角色。""天才由于一半属于成人世界，一半属于他周围的儿童世界而多了一层痛苦。神童比其他儿童要经历一个更为矛盾的阶段，他的处境就难有美妙可言了。"

至于我自己，确实在幼年时的功课很好。我在中学时曾看《中学生》杂志上的有关"置换群"的文章，担任清华数学教授的父亲知道了，并没有要我去啃微积分，读大学教材。恰恰相反，他聘请清华雷海宗教授的研究生来教我读《孟子》。我学了一个夏天的《孟子》，受益良多。父亲只是帮我打好基础，不施加压力，顺应我的自然发展，最后我选择了物理学。

我相信，一些孩子的学习能超前一二年是可能的，超前三年就不一定正常。把孩子在十一二岁就送到大学里去，会迫使他们面对沉重的压力，形成不健全的人格。有一位叫罗章雄的"神童"，他父亲曾问我升学之道，我劝他不要急于把儿子送出国读大学，还是让他像平常的孩子一样享有童年。当我听说罗章雄和一般的孩子一样在草场上踢球时，我很高兴。

陈省身、杨振宁、李政道、李远哲在清华(新竹)论学(1992)

1992年4月24日，陈省身、杨振宁、李政道、李远哲应台湾清华大学(新竹)校长刘兆玄的邀请，参加清华大学80周年校庆，并在《杰出校友座谈会》上回答师生的问题。本文是座谈会的谈活记录。

刘校长：今天藉着清华大学建校80周年的机会，非常荣幸能邀请到四位杰出的校友，来校作学术演讲。承蒙他们在时间上的帮忙与配合，四位今能共聚一堂。对清华庆祝校庆而言，没有比这样更具意义了。由于时间宝贵，我现简单介绍四位在数学、物理、化学界各有顶尖成就的杰出校友：

陈省身院士，清华34级校友，1983年伍尔夫奖得主，是国际闻名的数学大师；杨振宁院士，清华42级校友，1957年诺贝尔物理学奖得主，目前担任纽约大学石溪分部教授；李政道院士，清华45年到46年校友，1957年与杨院士共同获得诺贝尔奖，现任哥伦比亚大学教授；李远哲院士，清华61级校友，1986年诺贝尔化学奖得主，目前担任加州大学伯克利分校化学系教授。

在座谈会之前，我与他们作简单意见交换，决定采不正式，不指定课题的方式进行，但焦点仍放在下列几项：一是四院士求学历程中的可贵经验，足供后学者借镜之处，二是中国未来的前途，

三是科学未来发展的展望,四是对清华大学未来的建议与期许,包括对我们青年学子的期许。围绕着这些相关题目,请他们先提出看法,再将时间交给大家,与诸位教授、同学讨论。

首先,请陈省身教授先为我们说几句话。

我想,一百年的清华应该可以达到全世界第一流大学的水平

陈省身:让我先讲一个小故事。我是1930至1931年间,在清大数学系担任助教。当时学校的大事是招考——没有联招,由各校自行招生。记得那时清华全校连研究生在内有一千二三百人。招考对我这个年轻助教而言是件大事,因为能在工字厅内阅卷,并且有一顿丰盛的饭吃,所以内心很高兴。大家共聚在厅内阅卷,一些有趣的试卷可以传观。有一年是陈寅恪先生出国文试题,他认为中文很重要的训练之一是对对子,因此第一题就出了对对子题目——“孙行者”给学生对。有些学生觉得很困难,有人则以“胡适之”对,很好的对子。但对学数学的人而言,更好的答案应是“祖冲之”,他是南北朝时一位伟大的数学家。

陈先生那年出的国文试题是“梦游清华园记”。我今天也出一题供大家思考——“百岁清华”。清华今天80周年,再20年就100岁了,我们希望届时的清华是何种面貌呢?这20年中我们可做些什么事来达成这些愿望?我思考了一下,清华在80年前是留美预备学校,约在1930年左右,留美学生回到国内,把学术风气提高不少,成效显著。如今我们又达到了另一新的阶段,我想,100年的清华应该可以达到全世界第一流大学的水平。如何能达到这个目标呢?首先要充实研究院,继续加强。其次,学校最初是希望将西洋科技移转到中国来,但不久之后,就发现到西方社会在物质方面虽有进步,但也充满了矛盾、冲突,因此,如何

把西洋文化与中国传统文化思想相结合，创造出更新更完美的文化，应是当务之急。新竹人文社会学院的建立，这是很重要的。

当然，在此我也不禁想到北京的清华大学，两所学校应该多来往，加强合作，才能对中国未来发展起更大的影响。

在西南联大与研究院那六年时间，可以说是奠定了自己后来研究工作的基础

杨振宁：去年年底，我收到刘校长邀请参加清华建校80周年活动的信，我很快就答应了，因为我个人与清华有极密切的关系。我父亲在1929年，我7岁时，到清华担任数学系教授，于是父亲、母亲与我就在那一年的秋天搬到清华园，因此清华园是我童年熟悉之地，留下许多美好回忆。抗战开始后，清华先迁到长沙，再迁到昆明，在昆明与北京大学、南开大学合并成立了西南联合大学。我在西南联大读了四年书，毕业后又考进清华的研究院念了两年书，获得硕士学位，然后又考取最后一届的留美公费，赴美念书，所以我与清华实有深厚的渊源。

回想我这一生，对这些多重关系，怀有非常感激的心情，尤其在西南联大与研究院那六年时间，可以说是奠定了自己后来研究工作的基础，当时写的学士、硕士论文，是我后来工作主体的开端。西南联大那时教学、研究的风气非常浓厚，我深受其影响，学习了很多。各位同学在美好的新竹清华园内，也一定可以学习很多，希望大家能利用这美好的环境，创造自己美好的前途。

经济的发展与生活的享受是相对的，而文化的进步与科学的成就是比较绝对的

李政道：我这几十年来，常回台北，发觉台湾的经济情况进步飞速，尤其是这十年之间。因此，我想跟各位谈谈，经济的发展与

生活的享受是相对的，而文化的进步与科学的成就是比较绝对的。刚才杨先生提到西南联大，我是1945年进西南联大，那也是最后一届，我1946年就到美国了。

各位恐怕很难想象西南联大当时恶劣的物质条件，念书的教室是草屋，外面下大雨，里面下小雨。宿舍都是双层床，紧密相连成排，吸血的臭虫很多，因此每两个月，就要把床轮流放进一个大锅子中煮一下，拿回来晒干一天，然后可以有两天没有臭虫，两天后，臭虫就从隔壁床铺爬过来了。生活的条件十分不良，最高的生活享受就是每两个月有两天没有臭虫，可以舒服睡上一觉，可是这些并未阻扰我们求知，作学问的精神。所以说，经济的发展与生活的享受是相对的。

至于在科学、文化进步方面，从19世纪开始，量子力学、原子物理、原子能、核物理、核能、分子、镭激光，再到超导体，一切近代文化、高技术，都是在前人基础上逐渐发展的。文化是人所创造，而近代文化与基础科学有绝大的关系，而这些之产生可能是在很困难之阶段。所以物质享受是暂时的，科学文化则比较永久。我们在20世纪末，21世纪即将开始，应该要有什么样的发展与贡献，这将来的文化抱负就落在你们大家的身上。

把握生命，克服知识上的不美满

李远哲：首先我要欢迎这几位远道而来的朋友，我是在新竹长大的，也算是"地头蛇"。在日据时代，清华大学的现址是一高尔夫球场，记得念幼稚园时，我们做飞机模型，老师带我们到此竞赛。当时幼稚园学生只能用纸折飞机，但我父亲善于工艺，就帮我用竹子做了一个模型，很大型的747，要跟其他同学的纸飞机比赛。老师说不准，只好换成纸做的。不过，我的纸飞机一样飞得很远。

我高中毕业后就去读台大，回来念清华是1959年，清华在新竹复校不久。由于庚子赔款累积了很多钱，因此清大有了原子炉及加速器，这在那时是新鲜的东西，很多人来此念书，都满怀着热忱在此工作。当时校舍很少，山上有很多蛇，晚上到实验室必须带手电筒及竹棒子，以免遭到蛇咬。因为物质条件不佳，大家生活都很朴素，但校内的设备则很完善。我是念化学的，来此读的是"原子科学研究所"，倒是念了不少原子物理、近代物理实验方面的书，这对我后来发展有很大的帮助。

有一件事也可一提。那时学校刚创办，除了第一届的吴大猷院长回来讲学，讲"量子力学"很精彩以外，其他的师资并非很理想，我不是叛逆，说的是老实话。我们是土生土长，但是也希望不丢脸，如日本教授上课，我们总是特别认真，希望他们了解台湾小孩比起日本小孩是聪明一些，果然后来很多日本的老师都有同感，认为台湾长大的学生都做得不错。不过，也有很多不理想的地方，如当时很多人想考清华研究所，优秀的学生考上第一、二届，很多人没考上。过了两个月，国际原子能委员会招考一些科学家，送到国外受训八个月，回来后，开了记者招待会，变成原子能专家，被聘为清大的副教授。所以高我两届的同学就常觉得奇怪，某位教授似曾相见，原来是一起参加考试坐在旁边的，他没考上，我考上了，但是他回来却成了教授，我们还必须去修他的课。

上"量子力学"的课也不是很理想。记得第一次考试完后，老师骂我们笨，因为没有一个人考50分，他就叫我们晚上回去，重新再教我们。结果全班都回去上课，发现原来是老师做错了百分之五十，所以我们最高分数只有50分。我说这些，倒不是批评当时清华如何不好，而是指出我们学生满怀热忱，却看到许多的不美满，包括社会上与知识上的现象。我们也知道，知识的不美满，一半源自老师，一半则是人类社会累积的知识并非很完美。因

此,我们就逐渐学会了自力更生,靠自己的努力慢慢学。我后来到了美国伯克利做研究,跟一位老师学,可是讨论很多问题时,他总是说"我怎么晓得!要是晓得,何必要你去做研究!"我很能适应,因为我在清华两年就已学会了自力更生。所以,我们固然要满怀热忱,但不要太相信老师,"尽信书不如无书",对老师教学也是一样。

我以自己切身的体验奉劝各位,要好好把握自己的生命,社会上很多事、人类很多知识都不是美满的,我们应该要努力奋斗,克服这些不美满,创造更完美的知识。

刘校长:谢谢四位先生的引言,把他们的想法告诉我们。接下来的时间,欢迎各位同学提问题,大家交换意见。

数学中很多思想的泉源是从物理现象来的

数学系林同学:在科学研究的领域中,存在很多问题,这些问题有大有小,我们研究应该从大问题着手较好,还是从小问题着手?

杨振宁:我念书时,有一位教授是当时世界著名的物理学家之一,常跟研究生座谈,有一次同学问他:应该做大题目,还是小题目?他说:多半的时间应该做小题目,大题目不是不能做,只是成功机会较小,若能透过做小题目的训练,则更能掌握解决大题目的精神。几十年来,我仍觉得他的劝告是正确的。

陈省身:科学工作的好与坏、大与小,都很难说,要看各人不同的判断。像爱因斯坦当年在瑞士联邦工学院做学生时,数学、物理是同一系,二者不分,据他的自传中说,他可能学物理,也可能学数学,但数学都是搞小问题,物理则是大问题,而他要研究大问题。爱因斯坦是成功了,但我还是希望大家先选小问题来研究

比较有把握一些(哄堂一笑)。

物理系同学:数学对科学而言是一相当严谨而有用的工具,但不知诸位在研究过程中,会不会觉得数学限制了你的思考路径,发现数学并非十全十美,有些问题并非数学能解决的?有时在研究问题时,若能以数学以外的方法去看待,反而会变得很简单?

陈省身:有很多问题数学家的确不能解决。当年我在芝加哥大学教书,有一位哈密先生就认为,学物理的人不要念太多数学。这话不知是否正确?他说,一个物理学家所需要的数学,他自己就可以发现,用不着去念太多书。

李政道:物理跟数学的确有很密切的关系,可是数学不是物理,物理的目的是解释自然界的现象,解释要用到数学,可是关键在自然界本身。有一个故事说:有个人拿脏衣服要去洗,看到有家店外面,写着“洗衣店”,于是他就提着那包脏衣服进店里。里面的人问他:“你干什么?”他说:“我来送洗衣服。”“我们店不洗衣服!”“那为什么外面牌子写着‘洗衣店’?”“我们是卖那牌子的!”这故事是说:物理是真正洗衣服的,而数学是那牌子,不过牌子也很重要。(这时陈省身院士不疾不徐接过话)

陈省身:奇怪的是,这牌子会有用!(又是哄堂大笑)

杨振宁:我有一点补充意见。物理和数学有很微妙的关系。在十八九世纪,数学和物理发展的时候,两者的关系十分密切。牛顿之所以发展出微积分,是因为他想知道行星的轨道与万有引力,以及牛顿的三大定律。可以说直到19世纪的上半叶,数学中很多思想的泉源是从物理现象来的。可是后来数学的价值观逐渐独立,20世纪一位重要的数学家,也是陈教授从前在芝加哥大学的同事,他在30年前说:20世纪数学最大的成就,是从物理的约束中自我解放出来。这句话以现在来说并不完全正确,物理学

者通过他们的价值观念，研究了自然现象，发现其中有很奥妙的数学结构，这些结构不是物理学家本来所学过的，而数学家已从不同的价值观独立研究过，这情形已屡见不鲜，最有名的例子是爱因斯坦的广义相对论。

爱因斯坦在1908年开始，想推广他1905年的狭义相对论，使其在引力场中也可运用相对的观念，这其中所需要的数学是爱因斯坦所不知的，可是他有了一个思考的方向。后来他的一位数学朋友告诉他，这在上世纪黎曼已经开始，是19世纪数学的一个重要发展方向。这使他在1915、1916年完成了他的广义相对论。所以，一个物理学家如果不了解数学可能在他的研究范围里所能发生的作用，往往不易成功。

走对路，左右逢源；走错路，再努力也难有大成

物理系同学：很抱歉再提一问题，刚才谈的是物理跟数学的关系，现在能否谈一谈物理和哲学的关系？

李远哲：虽然是学物理化学的，但主席说我名字有“哲”，故要我来回答。我们在谈哲学时，常会谈到对宇宙世界、客观世界的看法，而哲学观点与自然界现象的关系是很深刻的。譬如说，以前的人以为地球是宇宙的中心，太阳、月球都绕着地球走，因此产生君主、帝王是中心，我们围绕着他走的观念。但后来大家知道原来是我们围绕着太阳走，社会上遂有了平等观念，帝王、君主不再是中心。所以我们对客观世界的了解，会影响到社会上很多事情。

杨振宁：如果观察一下全世界各地方的哲学、科学发展的历史，就会得到以下的结论：近代自然科学在萌芽时，如哥白尼、牛顿时候，与哲学是有密切关系的。我们看牛顿的东西可知，他的自然科学与哲学思想是同一起源，不过，牛顿以后，到今天20世

纪，很明显地，自然科学受哲学的影响程度已逐渐降低。目前是物理学的发展大大影响了哲学，反之则日益减少，我觉得这也是自然的规律。

电机系黄教授：我有两个问题想请教诸位院士。第一，如何选取研究的方向与领域？刚才几位先生谈到，即使在西南联大物质贫乏的时代，如杨教授说，他的学士论文就能奠定他日后研究的基础。不过，若从另一观点来看，诸位所遭逢的正是近代物理学蓬勃发展的阶段，时也？命也？运也？我们到底要如何选择？第二，清华师资的基干大概在四十岁左右，很多教员很努力，也愿意努力，不过有一点困难，即不知如何做学术生涯的规划，关于这一点，想请教各位。

杨振宁：我想把这个问题用另一个方式说明。大学中有很多优秀的研究生，他们自己和老师都不能预测未来的成就有多大，可是二三十年后，成就却可能悬殊。回想一下，成功的同学在当时并不见得比不成功者优秀许多，这其中有一基本的道理，即有人走对了路，左右逢源，有人走错了路，再努力也不能有大成。那么将来有大发展的方向是什么呢？这无法有一定的答案。一个研究生对自己前途最重要的责任，是必须掌握自己所念的学科中那些部分是比较有前途发展的，还要掌握住整个领域发展的大方向。如何做到呢？我的建议是，把“天线”放长些，多方浏览，不只是浏览本身学科狭窄范围的文献，更要随时留意其他的学科，透过广泛接触，才能找出这门领域的大方向。

陈省身：选择科目与方向是很难决定的，中间有很多是靠机会。我的建议是，要有广博的知识，不要只念自己本身科目的东西，不管有无相关，都能尽量吸收，了解的范围愈广，做正确决定的可能性就愈增加。

李政道：这个问题即使是我们自己也必须面对，物理可能比

数学容易些，因为物理是要解决自然界基本的构造，这构造较清楚，有许多大问题在那里，因此，第一步是要了解有那些大问题，第二步是考虑要不要做这些大问题。一个大问题，其困难常在观念，而非数学。每个人对自己本身的优缺点也必须知道，估计自己能力多寡，看看那些路别人走过，而自己也能走，能走的原因在那里？很多问题之所以成为问题，是因为看不清楚，而没有花足够时间，也很难一下子看得准。

抓住“大题小作”、“小题大作”的原则

李远哲：我们做科学研究工作的人，花了很多心血、时间，总希望能有些创新与成果，但往往达不到目的。我喜欢打棒球，现在依然常跟研究生去打棒球，虽然我年纪大了，但偶尔还会击出全垒打，打到界外。有一次，我打到电线杆的右边，篱笆外面，球赛必须停止，因为要把球捡回来才能继续打。而通常学生都会说：李教授，你坐着，我们去捡球。于是10个学生就一起去找。他们看到我打到球场外、电线杆的右边，于是他们都去那里找，但找了20分钟，还没有把球找回来。我就去帮忙捡球，那时我就不去电线杆右边，而跑到左边，学生都说我跑错地方，结果我在左边20公尺处找到那个球。这件事恰好说明，我们做科学研究工作，常常根据自己的观察下判断，但这观察不一定正确，判断也不一定对。

一个老师，必须把自己知道多少告诉学生，同时也要让学生知道哪些是我们不懂的，年轻人才知道哪些地方有待克服。至于大、小题目孰优孰劣，我觉得都无妨，只要抓住“大题小作”、“小题大作”，是指在研究一个小题目时，也要观照到这个题目背后所反映出来的普遍性；有的人则喜欢“大题小作”，例如分子结构与化学反应的关系，分子有数百万个，如此普遍、庞大的研究要如何着

手？必须从小处开始，先挑几种分子，研究跟它的化学反应有何关系。小题目处理得好，才有能力解决大题目。所以，做化学研究者是没有一定的方向、规律，只要努力知道哪些题目尚未解决，做小题目者能注意其普遍性，而做大题者应从小处着手，这样或许就能找到自己的路。

数学系王同学：我有两个问题。第一个问题想请教李远哲教授，当您获得诺贝尔奖之后，在台湾的声望便直线上升，尤其是一句"教授治校"，让教育部长、大学校长们面临一阵混乱，也是在声望正隆时，您参加了国统会，可否请您谈谈参加国统会的理由？第二个问题则想请教四位，您们都是在获奖之后，就一直留在美国研究，事实上也都归化为美国籍，这是否说明了您们的研究生命必须在美国才得以开展、延续？西方世界是否有比华人世界更优越的科学研究潜力？诸位是否曾考虑在未来的日子里回到华人世界，在大陆、台湾或香港，从事科学研究或教育下一代？

李远哲：今天在座的还有一位国统会的研究委员沈君山博士，如果我的回答不够清楚，我想他可以补充一下。

看海峡两岸的现状，我觉有许多不完满的地方，还要再努力，才能使中国社会趋于理想。台湾这几十年来，民主步伐在加速，但积累的很多问题，使步伐无法走快。大陆上也有很多问题。现在，两岸交往日益频繁，我住在海外，也感到高兴。但忧心的是，有些人只想赚钱，有些则想维护既得利益，这都是不正常的，因此希望两岸在未来交流时，能走正规、好的方向，并且是对人民有利的。

另外，若从长久来看，两岸都进步，中国的统一对中国人是有利的，国统会若能做好该做的事，民主化的步伐或许会快些，正是基于这样的希望与期待，我接受了国统会的邀请。

李政道：研究的环境是不断在变的，陈省身、杨振宁与我当时

的中国环境跟今天又有不同，我大部分的工作是在美国。但很多新的成功科学家，如高温超导体的朱经武、吴茂昆、赵忠贤等人，赵忠贤可说完全是在大陆进行，而吴茂昆则是在新竹。我们是一代传一代，尽自己的努力帮助下一代人成长，我相信不久，两岸中国人与海外可以联合起来，届时中国科学的发展一定可以获致极大的成功。

陈省身：我个人一向对中国数学有热忱，因此希望能为中国数学做些事，1948年我在南京，在现今南港中研院数学研究所做事，也是那一年我到了美国。一部分工作在国内进行，一部分在美国。至于谈到将来，我是“与校同寿”，1911年生的，所以没什么“将来”好谈了。

下一世纪，中国人将走向每一科技的最前端

杨振宁：我想提两点补充意见。首先，我的研究工作若不在美国的环境中是否做得出来？我曾经思考过，有一大部分工作，若我在50年代初回到大陆，是不可能做的，而这些都是和物理现象比较发生关系的，因为这些现象发生的地方，主要是在美国，美国有很多人才、财富、大型加速器、新资讯，若当时回大陆，恐怕就不会朝这些方向发展了。

但是也有一些另外的工作是可以不在美国做的，一些不与立刻发生的事情有紧密关系的工作，我也做过很多，而且很重要，如果我回到大陆，这些工作恐怕不仅能做出来，甚至会提早，因为我的精力只好用在这上面。

杨振宁：刚才那问题背后或许还有一层涵义，即中国的传统文化，是否与目前政治、社会、经济发展的条件，与对个人科技研究的前途是不利的。关于这一点，我觉得眼光应该放远。19世纪末，中国文化受西方文化冲击，发生激烈辩论，产生如“中学为

体，西学为用”这种说法。从近距离看，觉得中国在近代科学发展上很缓慢，但从远距离看，其实不慢。第一次两个中国人得到物理学博士学位，都是在1910年代于美国获得的，他们回到中国，教育了一批人，当我于1938至1942年间在西南联大读书时，其课程跟当时世界第一流的大学相比，完全是有过之而无不及，“有过之”，是因为我们良好的教育传统。西南联大得天独厚，有强大的师资阵容，我得到很大益处。这是因为1910年那少数的几个人，通过我父亲那一辈，再到陈省身那一辈，等到了我念书时，已经可以在国内接触到国外最前卫的学问，从这个角度看，那时间其实是很短的。

再举一例。中国大陆一直给人落后的印象，这是错误的，大陆的科技其实相当进步。在1948、1949年时，中国根本不知何处有铀矿，更不用谈开采了，但到了1964年，他们不仅试爆第一颗原子弹，两年八个月后，又试爆了氢弹。这足以说明他们培养了千千万万的科学家，所以中华民族与中国传统，在有组织的情况下，从科技上进军，是完全可以跟西方社会抗衡的，西方人也很清楚这一点。因此，他们对中国人能做科技工作不仅非常之佩服，而且害怕，这害怕也不是自今日始，而是从19世纪末就开始了，当时中国人所做之事补偿了几百年之落后。对于在下一世纪，中国人将走向每一科技的最前端，我深表乐观。

抛开面子之争，人与人平等相待

李远哲：杨教授的意见我同意。如果毕业后，我一直留在台湾，大概以后的成就完全不一样。我做的实验固然所需物质上的条件较好，但这并不是主要原因，而是到了美国之后，看了不少科学家，学了不少东西，做过多次讨论，慢慢培养出不管任何事，只要想完成就可做到的自信心，这是美国社会给我的。

1961年我得硕士学位后赴美,当时台湾的科研设备、经费与国外相比,差得很多。但现在看到清华教授的设备、经费比起国外已经相当不错了。不过,你若问在目前台湾的科研情况下,我们是否能做出大贡献呢?我觉得时间仍未成熟,原因有二:第一、年轻人从事科研、学术工作的热忱不够,低迷很多,台湾的功利社会迫使这些年轻人走向容易找工作、追求安逸生活的道路,而任何事情若缺少有心人去全力以赴,是无法开创新局面的。

第二,在科学探讨中,面对真理,大家应该平心静气讨论问题,来提高学术气氛。但我回台后发现,也许是历史包袱过于沉重,或是封建社会留下的遗毒,或是士大夫思想,使得我们还没学会"人与人平等"的观念。我在美国30年,学会很多事情,其中最重要的一点是人与人的平等相待,所以,我与学生讨论问题也是完全平等。但这里似乎讨论不容易,谁也不服谁,有些是面子问题作祟,这是不健康的,不正常的。因此,虽然物质条件改善了,仍使我的一些合作计划进行得不很顺利。我希望大家能平等相待,不要因为面子问题阻碍了我们的进步。

化学系同学:能否请李远哲教授给我们大学部,还在建构基本化学知识的学生一些建议?

用热忱、奉献的心创造更完美的知识领域

李远哲:我只能提供一点经验。我到台大念书时,满怀热忱,但我没有想成为伟大科学家的野心、抱负,只想成为一名不错的科学家。我初进台大就问学长学姐,如果往后四年,我好好努力,会成为一名很好的科学家吗?他们都对我说:不会。他们说,二次大战后,许多新兴的科学,如量子力学、统计力学等,都对化学很重要,但系里既无此课程,也无人教,因此,若想好好学,就到物理系多选几门课吧!我就去选了几门课作实验,念量子,果然收

获不少。也是在那时,我明白了即使修课程、拿学分、考试90分,毕业后也不一定能成为好的科学家。我跟物理系同学利用晚上念量子力学。跟年轻讲师一起读书,一起做研究。所以,没有一条路是必须的,只要大学四年能掌握生命,有目的地培养自己、按阶段去学习,这样就可以做得很好。

刘校长:非常谢谢四位杰出的校友在此与大家交换意见,四位对我们做学问、选题目的建议,都很有启发性。此外,四位也告诉我们,经济、物质的成长是比较相对、短暂的,学术、文化、科学的成就是比较绝对、永久的。更希望同学们能用很大热忱、奉献的心,去努力求取心得,获致自信,届时不必管老师是好是坏,也不必尽信书中所言,也不必抱怨知识的领域不够完美,在创造更完美的知识领域时,我们要有舍我其谁的胸襟抱负。也许有一天,通过大家的努力,两岸都能加速改革的步伐,创造出对两岸人民都有利的条件,更进一步,把中西文化融合、创造成新的中华文化。在这样大的潮流、大的题目之下,清华愿尽其一份努力,从自身努力与两岸清华的合作开始,朝此一方向迈进,到"百年清华"时,能更有一番新的气象,诚如四位的勉励,希望那时清华真正是在学术上有世界地位的一流学府。在此我仅代表全校师生,再次感谢四位的抽空莅临与热忱指导。

"四位杰出校友座谈会"历时两个小时,却欲罢不能,同学们反应热烈。会后,刘校长代表校方致赠四位校友"清华之光"盾牌纪念,与会师生均报以热烈掌声。四位院士于校庆期间,皆各有数场学术研讨会,亦皆场场爆满,盛况空前。

关于理论物理发展的若干反思

本文原载纽约州立大学石溪分校理论物理研究所预印本，编号 ITP—SB—92—55。中译文载《世界科学》杂志，1993 年第 6 期。译者郭毓陶，校者张奠宙。

今天上午我要讲的是，最近几百年来有关理论物理发展某些方面的几点彼此松散相关的看法。

1936 年，在英国有一次拍卖，其中拍卖了牛顿（Isaac Newton，1642—1727）的许多论文，这是牛顿在离开三一学院赴伦敦时放在一只箱子中的。伟大的经济学家凯恩斯（Keynes）开始收集并重新编订这些论文。他成功地收集了其中的一半。在研读了这些论文之后，他于 1946 年写了一篇令人感兴趣的文章①，标题为《牛顿其人》（Newton，The man）。这篇文章对牛顿在人类知识历史中的地位作了有洞察力的评价。让我从这篇文章中引用两小段：

"从 18 世纪以来，牛顿曾被认为是近代第一个最伟大的科学家，一个理性主义者，一个教导我们按照客观的和不加色彩的理智来思考问题的人。我却不用这种眼光来看待他。……牛顿不是理性时代的第一个人。他是最后的一位巫师，最后一个巴比伦人和苏美尔人，最后一位伟大的智者，他看待周围世界和智识世界，和几千年前开始建立我们知识遗产的那些人的眼光一样。"

凯恩斯是正确的。在牛顿的总共有100多万字的论文中，除了他的数学著作外，还有他“研究”神学问题和炼金术的大量记录。他深深地沉浸在神秘与奥秘之中。在如此大的干扰下，他能够集中进行清晰的数学思维，写出他的巨著《哲学原理》(The Principia)，这必须被看成是伟大的历史奇迹之一。

在牛顿活着的时候，人们已经明白，他为人类开创了一条充满力量的光明之路。他终究解决了“世界系统”(这是哲学原理第三册的标题)的奥秘，当然，那是自人类文明以来，人类社会的最大的奥秘。亚历山大·蒲柏(Alexander Pope)以感激之情写出了下面不朽的诗句：

> 自然与自然规律在黑夜中隐藏着：
> 上帝说，让牛顿去搞吧！于是一切都光明了。

人们并将它刻在牛顿的出生地林肯郡沃尔沙普的房间的壁炉上方。

那是1727年。60年之后，拉格朗日(Lagrange 1736—1813年)的《解析力学》(Mecanigue Analytigue 1788年)出版了，力学科学，包括天体力学和地球力学，都已成熟了，关于宇宙结构的宏观和微观的力学观点终于得以形成。这时，科学完全脱离了宗教，并以充沛的活力作好了起飞的准备，它给人类带来了各种或好或坏的后果。

在拉格朗日的时代，人们将解析力学看作是数学的一部分。例如，拿破仑曾说过：“拉格朗日是数学科学中高耸的金字塔。”令人感兴趣的是，在1781年，拉格朗日写信[②]给良师益友达朗贝尔(d' Alembert, 1717—1783年)说：

> 我也认为，矿藏挖得太深了，假如没有发现新矿脉的话，迟早将必须放弃它。目前，物理学和化学展现出光彩夺目的宝藏，

而且容易开发，因此显然地，人们完全转到这一方向，总有一天，科学院中几何学教授的职位可能会落到像现今大学中阿拉伯语教授的那种地步。

拉格朗日称之为矿藏的就是由《哲学原理》所发展出来的数学和物理学。他所称之为物理学的，就是对热、光、声、电、磁的研究。他确实成功地预言了以后几年中在后几种领域中所发现的丰富宝藏。但他的错误在于没有认识到，数学中"新的矿脉"并不直接和《哲学原理》相联系，事实上，正是后来从他自己解方程的一些研究中才体现这种联系，导致群的理论，以及在 19 世纪和 20 世纪的数学和物理学中扮演主要角色的其他代数结构。

19 世纪物理学中第一个重大发现是奥斯特（Oersted, 1777—1851 年）在 1820 年发现了关于电与磁之间的联系。《电磁》和《电动力学》等词就出自这一工作。又因为这项工作以及后来安培（Ampère, 1775—1836 年）等人的研究，法拉第（Faraday, 1791—1867 年）试图从磁造出电，于是在 1831 年发现了电磁感应。在接着的四分之一世纪中，法拉第实实在在地做了几百次实验，并将它们发表在 1831—1854 年的《哲学汇刊》（Philosophical Transactions）上。这些实验报告描述了重要的工作，包括了电与磁现象的整个领域：感应、电解、静电、绝缘体、抗磁体等等。但对 20 世纪的物理学家来说，它们是不容易读的。因为没有公式，它们只是描述了法拉第试图以他的直观来理解有关电磁探究的细节。

这些探索包含了后来深深影响物理学历史的两个重要概念：磁力线和电紧张（Electrotonic）状态。首先，法拉第宁可将带电物体或带磁物体间的力看作沿着力线发生，而不看作远距离的作用。其次，他相信环绕磁体的状态③或情况是

一种压紧状态或一种振动状态，或许是类似于电流的某种状态，它是与磁力线紧密有关的某种状态。 (1)

在别处他称这种状态为电紧张状态。

在 1854 年，就是法拉第停止发表他的实验的那一年，年青的麦克斯韦(Maxwell, 1831—1897 年)从剑桥大学毕业了。那一年初，他写信④给威廉·汤姆逊(William Thomson, 1824—1907)，信的开头如下：

三一学院，1854 年 2 月 20 日

亲爱的汤姆逊：

由于我已进入了不神圣的学士等级，我就开始想到读书。能有一段时间遨游在公认为有价值的、尚未读过的但应当去读的书籍中间，这是非常令人愉快的。但我们都强烈地倾向于回到物理学课题，并且我们这里的几个人希望去攻读电学。

假设一个人具有电学示范实验的通俗知识，又有些厌恶墨菲(Murphy)的电学，那么他应当如何去进行阅读和工作，以领悟这一课题并使之用于进一步阅读？

假如他希望阅读安培、法拉第的著作，那么应怎样来安排，又在哪个阶段他可以阅读你在剑桥期刊上的文章？

假如在你的心中已有了对上述问题的回答，那么我们这里的三个人都愿意将你具体写出来的回答看作忠告。

汤姆逊是一个天才，他那时才 30 岁，但已在格拉斯哥大学当了 8 年自然哲学教授。他是电磁学理论方面的第一流权威，又是麦克斯韦的一个亲密朋友。麦克斯韦接近汤姆逊是幸运的，因为汤姆逊在 1851 年引入⑤了现在称之为向量势 A 的概念，以表达磁场 B 如下：

$$\nabla \times A = B \qquad (2)$$

(当然,汤姆逊不是使用向量记号,他写出三个方程,即(2)的三个分量来代替)我不知道汤姆逊是怎样回答麦克斯韦的,但除了别的事情外,很自然地会猜想他要麦克斯韦注意他的1851年的论文,我们确实知道,在一年多以后,麦克斯韦发表了他的使物理学革命的两篇论文中的第一篇。[⑥⑦]

麦克斯韦的论文是非常难读的。或许那就是为什么大多数近代有关麦克斯韦工作的参考文献都集中于他的第三篇论文[⑧]和他的《电磁学专论》(Treatise on Electricity and Magnetism, 1873年),而不看重前两篇论文,事实上,前两篇文章已包含了一切重要的思想。

这两篇论文的第一篇中的关键性想法是将汤姆逊引入的向量势认同为法拉第的电紧张强度:

$$\text{向量势} = \text{电紧张强度} \tag{3}$$

麦克斯韦深刻地认识到这一认同的重要性。该论文的第二部分带有标题:关于法拉第的"电紧张状态",也就是在这一部分中作出了上述认同。麦克斯韦十分谨慎地把功劳归于汤姆逊和斯托克司(Stokes):

> 关于目前理论的历史,我可以说,认识到将某些数学的函数作为表示法拉第的'电紧张状态',并且利用它们来决定电动势和电动力,就我所知,是我首创的;但数学表达式的可能性的清晰概念,是在阅读了W·汤姆逊教授的论文后才出现在我的头脑中……。斯托克司教授曾向我指出,他曾在他的"衍射的动力学理论"中使用过类似的表达式(剑桥大学学报,第9卷,第一部分,第一节)。

麦克斯韦是怎样得出关键的同一性认定(3)呢?关于这点我们无法确切知道,但我大胆地猜测,麦克斯韦曾仔细地研究了汤

姆逊的论文，并且做了许多"例子"。事实上，他在文献 6 的末尾，加上了 12 个这种"例子"作为附录。例 10 对沿球体纬度绕有厚度 t 的导线的球状电磁体，明确地给出了向量势的分量 α_0，β_0 和 γ_0。例 12 对"在一个均匀的磁力线场影响下的传导物质做成的旋转壳体的情况"，给出了类似的分量(法拉第在他的《实验研究》第二辑中曾研究过这一现象)。作这样的猜测是自然的：由于熟悉向量势，麦克斯韦最后明白了法拉第在上面引文(1)中的模糊陈述意味着什么。

无论如何，在带有标题为《电紧张状态的概要》一书中，麦克斯韦陈述了六个定律。以近代的记号，其最后一个就是

$$E = -\dot{A}/C \tag{4}$$

经过一次积分，那就是法拉第定律

$$\nabla \times E = -(\nabla \times \dot{A})/C \tag{5}$$

实际上，在麦克斯韦的一生中，他将向量势看作电磁理论中的基本量。在 1873 年，作为卡文迪什(Cavendish)讲座的教授，在著名的专论中，他写道：

> 法拉第在早期研究中想到的感应电流，仅依赖于这样一个量的改变，而不依赖于该量的绝对值大小……在实验过程中，经过紧张的思维，但没有数学计算的帮助，使他认识到存在某种东西，现在我们知道它是一个数学量，并且甚至可以称之为电磁理论中的基本量。

那个量就是向量势，在麦克斯韦的所有出版物中，他总是明白地写出他的方程，以向量势扮演主要角色。只是在许多年之后，赫兹(H. Hertz)与亥维赛德(Heaviside)消除了[9]向量势，从而产生了"赫兹与亥维赛德形式的麦克斯韦方程"(随着量子力学的

发展，通过阿哈罗诺夫—博姆（Aharonov—Bohm）实验，向量势变成了[11]一个可测的量，不可能完全被消除）。

现在让我们回到上面提到过的文献 6 的那节中概括的 6 个定律。（与那最后的定律相关），其他 5 个定律联系到各种形式的安培定律，其中麦克斯韦反复地利用了下列两式的一致性：（用现代的记号）方程

$$\nabla \times H = 4\pi j/c \tag{6}$$

通过斯托克司定理，等同于

$$\int H \cdot d\mathbf{l} = 4\pi \iint \mathbf{j} \cdot d\sigma/c \tag{7}$$

此式还没有一个名称[11]。麦克斯韦意识到，法拉第的想法一般被表示为积分形式，如上面的(7)式，但当时通常的数学思维趋于循着微分形式，如上面的(6)式。为了强调这一点，他后来在《专论》第一版的前言里写道：

> 当我着手研究法拉第的著作时，我察觉到，他构想现象的方法也是一种数学的方法，虽然没有被表达成通常的数学记号的形式。……当我将我认为是法拉第的想法翻译成数学形式时，我发觉，一般来说，两种方法的结果是相一致的，因此，对同一现象，用两种方法推出了同样的行为法则，但法拉第的方法类似于我们从整体开始，然后通过分解以得出各个部分的那种方法，而通常的数学方法是基于这样的原则：从各个部分开始，然后通过综合建立起整体。……　(8)

那就是说，法拉第使用积分形式，而通常数学方法使用微分形式。

顺便说一下，斯托克司定理当然是近代微分几何中关键性思想，用今天的数学语言，它具有非常简单的形式：

$$\int_{\partial R} A = \int_R dA \tag{8}$$

它的第一次引入[11]应当归功于斯托克司与汤姆逊，而麦克斯韦则用它将法拉第的积分型的观念翻译为微分方程，因而创造了场论。也只有麦克斯韦才能欣赏到它的深刻的数学意义。

在麦克斯韦的关于电磁学的第一篇论文（文献6）发表后5年左右，他又发表了关于这一课题的第二篇论文[7]，其中他得到了位移电流的思想，并导致"光是横向电磁波状态"的历史性结论。

那篇论文分成四部分，其中第一与第二部分发表于1861年的3月、4月与5月，第三部分发表于1862年的1月与2月。很奇怪，位移电流引入得较迟，是在第三部分的一个命题（命题14）中作为第一部分的一个前面的等式（安培定律）的校正而引入的。那篇论文的目的在文章的一开头就说得很清楚。联系到1856年的早期工作，文章说道：

> 在同一篇论文中，我发现了'电紧张状态'的几何意义，并指明如何推导电紧张状态、磁、电流与电动力之间的数学关系式，利用力学例子说明以帮助想象，而不是要说明现象。
>
> 现在我打算从力学的观点来考察磁现象，从而决定一种介质中的什么样强度或什么样的运动可能产生所观察到的力学现象。

他当时所讨论的力学模型是《分子旋涡》理论，这是一种非常复杂的模型，直到现在我还不能理解它。事实上，我也不清楚他的关于位移电流的关键性的发现与模型的复杂性究竟有什么关系。无论如何，后人是幸福的，麦克斯韦在下一篇论文中，完全消除了旋涡模型（见文献8）。后来，在1873年发表的《专论》中，这

一模型在书的主要部分中不起任何作用了。

在 1936 年的一篇文章[12]中，拉摩(Larmor)公开了从 1854 年到 1879 年由麦克斯韦写给汤姆逊的信件。不幸，其中有 1856—1861 年 5 年的空档，大概是拉摩没有找到这一期间的任何信件。在这一空档之后，第一封信是 1861 年 12 月 10 日发出的，显然，那时麦克斯韦已发现了位移电流，并已发现了电磁波的速度与光速的同一性。不幸地，这封信没有说明他如何发现位移电流，也没说明分子旋涡模型如何在位移电流中起作用。

法拉第死于 1867 年 8 月 25 日。麦克斯韦为他写了颂词，发表在《自然》杂志上。颂词的一部分具有强烈的维多利亚女王时代的风味：

> 法拉第生活的国家是强大的，假如我们中间有更多法拉第的话，国家就会更加强大。

对我来说，颂词的最有兴趣的几段是麦克斯韦描述了法拉第的直观与数学之间的联系：

> 法拉第利用他对磁力线的想法与电磁感应现象等同起来的途径，表明他实际上是一个出类拔萃的数学家——未来的数学家可以借助他的工作导致大量有价值的方法。……从欧几里得(Euclid)的直线到法拉第的磁力线，这就是科学赖以前进的思想的特征，并且由于自由地使用和动力学的观念，我们可以期望有进一步的发展。

显然地，这些评语表明了麦克斯韦对法拉第直观地理解电磁学方程的积分形式的极大钦佩。我们可以把这与法拉第对数学的怀疑态度相对照：在 1857 年，法拉第收到麦克斯韦关于电磁学的第一篇论文[13]后，在 3 月 25 日写信给年轻的作者：

我收到了你的论文,为此非常感谢你。我没有因为你提到了'磁力线'就冒昧地感谢你,因为我知道你是出于关心科学基本原理的真理性而这样做的;但你一定会认为那是令我愉快的工作,从而给我更多的鼓励以继续去思考。当我看到用这种数学上的力来支撑研究课题时,我一开始几乎惊呆了,可接着又惊奇地看到这一课题被处置得那么好。

这就把我们带到了数学与物理学之间的微妙关系的题目上了,这一题目是经几百年来逐渐地发展的。在最近一百年来,数学变得越来越抽象,有着脱离它的物理学源泉的强烈趋向。著名数学家马歇尔·斯通(Marshall Stone)在一篇文章中雄辩地强调了这一趋向[14]:

虽然自1900年以来,在我们的数学概念中,或在我们关于数学的观点中,已发生了若干重要的变化,但思想方面真正卷入革命的一个变化,则是发现了数学完全独立于物理世界。比方说"思维产生于大脑"这类含糊的意思更进一步,可以将它说得稍微更精确些,即现今已认为数学与物理世界没有任何必然的联系。可以毫不夸张地说,这一发现标志着人类历史上最重大的知识进步之一,就数学而言,只有另一个伟大的发现可与之相提并论——希腊人认识到,几何学的经验事实可归结为一些逻辑的模式,它们结合得如此之好,以至于整个几何学可作为基于有限个公理之上的,内容协调的逻辑结构而出现。

照我看来,斯通的话很有道理,但并不全对。虽然在本世纪中这两门学科的分离的势态是变得越来越明确了,但也确有迹象表明这两门学科从根本上是深深地联系着的。其间的关系是太微妙了,以致不容许作简单、片面的描述。

我曾写到过[15]这一微妙关系的两叶理论(见图1)如下:

尽管数学与物理学之间的联系很深刻，但认为两门学科交叠很多，那将是错误的。它们并不交叠很多，它们有各自的目标和风味。它们有不同的价值观，不同的传统。在基本概念上，它们令人惊异地共同使用某些概念，但即使在那些上面，每个学科的生命力总是沿着它自己的叶脉流动。

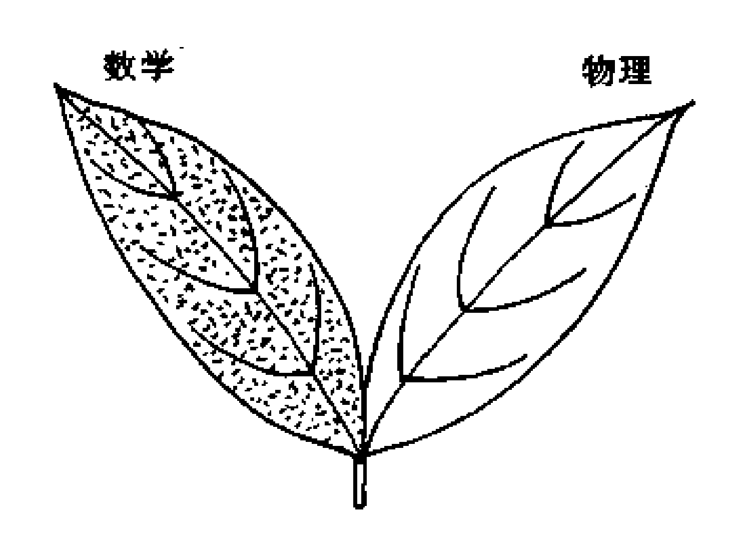


图 1　数学与物理学之间的关系的两叶理论

交叠的面积只是每个学科的一小部分，或许仅有百分之几。例如，实验物理学就不在交叠的区域中，虽然它代表物理学中一大块研究领域。有时，交叠的面积会扩大，例如，当爱因斯坦(Einstein, 1879—1955 年)将黎曼几何引入物理学时。但同时这两门学科的不相交叠的面积也大大地扩张了。

两门学科之间的微妙关系也产生了数学家与物理学家之间一种牵引力。数学家倾向于离开物理学家，但在物理学家中间，有一些人认为数学家们是在自鸣得意。依我看来，这一现象的社会学还没有被充分分析过。

尽管本世纪中一大群数学家有脱离物理学的倾向，但在这时期中，交叠区域却大大扩张了：黎曼几何、希尔伯特空间、李群、纤维丛、拓扑学和量子群都是当代物理学许多分支的概念性基础。

很难避免得出这样结论：自然界似乎倾向于用数学中漂亮的基本结构去组织物理的宇宙。我们可以不明白为什么会这样，但我个人坚信，在下一个世纪，交叠区域将继续扩大，这对两门学科都会有益。

参考文献：

① J. M. Keynes, *Essays and Sketches in Biography* (Meridian Books, N. Y. ,1956).

② V. I. Arnold, Huygens and Barrow, Newton and Hooke, p. 107 (Birkhauser, 1990).

③ W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, p. 511 (Harvard University press, 1969).

④ J. Larmor, Proc. Camb. Phil·Soc. 32(1936)697.

⑤ W. Thomson, Phil. Trans. Roy. Soc(London)141(1851)243—285.

⑥ J. C. Maxwell, *On Faraday's Lines of Force*, Trans. Camb. Phil. Soc. 10(1856)27—83.

⑦ J. C. Maxwell, *On Physical Lines of Force*, Phil. Mag. 21(1861) 161,281,338;23(1862)12,85.

⑧ J. C. Maxwell, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, Phil. Trans. Roy. Soc. (London)155(1865)459.

⑨ J. F. Mulligan, *Physics Today*, March 1989, P. 50.

⑩ C. N. Yang, Proc. 3 rd Int. Symp. on the Foundations of Quantum Mechanics, P. 383 (Physical Society of Japan, 1990).

又 C. N. Yang, *Hermann Weyl* (Springer-Verlag, 1986).

⑪ 麦克斯韦熟悉斯托克司定理，因为他在 1854 年初参加了史密斯奖考试(Smith Prize Examination)〔与路兹(Routh)一起得到第一名〕，而考试的第 8 题就是要证明斯托克司定理。细节可参看 J. C. Maxwell 的《Treatise》第 24 页末尾，又见 L. Larmor 关于 1854 年史密斯考试题的脚注，在《Mathematical and Physical Paper of G. G. Stokes》(Cambridge University press 1905)

第5卷第320—321页上。又见C. W. F. Everitt, *James Clerh Maxwell*, p. 91(Schribner's Sons, 1974)。

⑫ J. Larmor, The Origins and Clerk Maxwell's Electric Ideas, as Described in Famlliar Lethers to W. Thomson, Proc. Camb. Phil. Soc. 32, (1936)695.

⑬ L. Camptell and W. Garnett, *The Life of James Clerk Maxwell*, P. 519(Johnson Reprint Corp. 1969).

⑭ M. Stone, Am. Math. Monthly, 68(1961)715.

⑮ C. N. Yang, Proc. *Second Marcel Grossmann Meeting on Gen*. Relativity, R. Ruffini (ed.) p. 7 (North Holland, 1982).

近代科学进入中国的回顾与前瞻

本文是杨振宁教授1993年4月27日在香港大学的演讲，由沈良译自英文原稿。原载香港《明报月刊》，1993年10月号。

公元1400至1600年——中国落后于西方

古代许多重要的发明都起源于中国，这是人所共知的。其中最著名的是印刷术、火药、指南针和造纸。极力推崇这些重大发明的不是别人，正是欧洲近代科学启蒙时代的哲学家培根(Francis Bacon，1561—1626)，虽然他并不知道它们是源自中国的：

> 纵观今日社会，许多发明的作用和影响是显而易见的，尤其是印刷术、火药和磁铁。这些都是近代的发明，但是来源不详。这三种发明改变了整个世界面貌和一切事物。印刷术使文学改观，火药使战争改观，磁铁使航海术改观。可以说，没有一个王朝，没有一支宗教派别，没有任何伟人，曾产生过比这些发明更大的力量和影响。[1]

科学史学家普遍同意，公元1400年以前，科技转让主要是由中国传向欧洲的。中国科技直到1400年前后比欧洲科技优秀，可见于李约瑟(J. Needham)的巨著[2]中对明朝三保太监郑和(1371或1375—1433或1435)在1405至1433年间七次下西洋，

远及非洲海岸的描述。根据中国史书记载，郑和远征船队的一些船只长达440呎，是在南京建造的。曾有一些历史学家怀疑，当时能不能造这样大的船(见图1)。但1962年在南京发掘出的一件36呎高，1.25呎直径的舵，消除了这种怀疑。

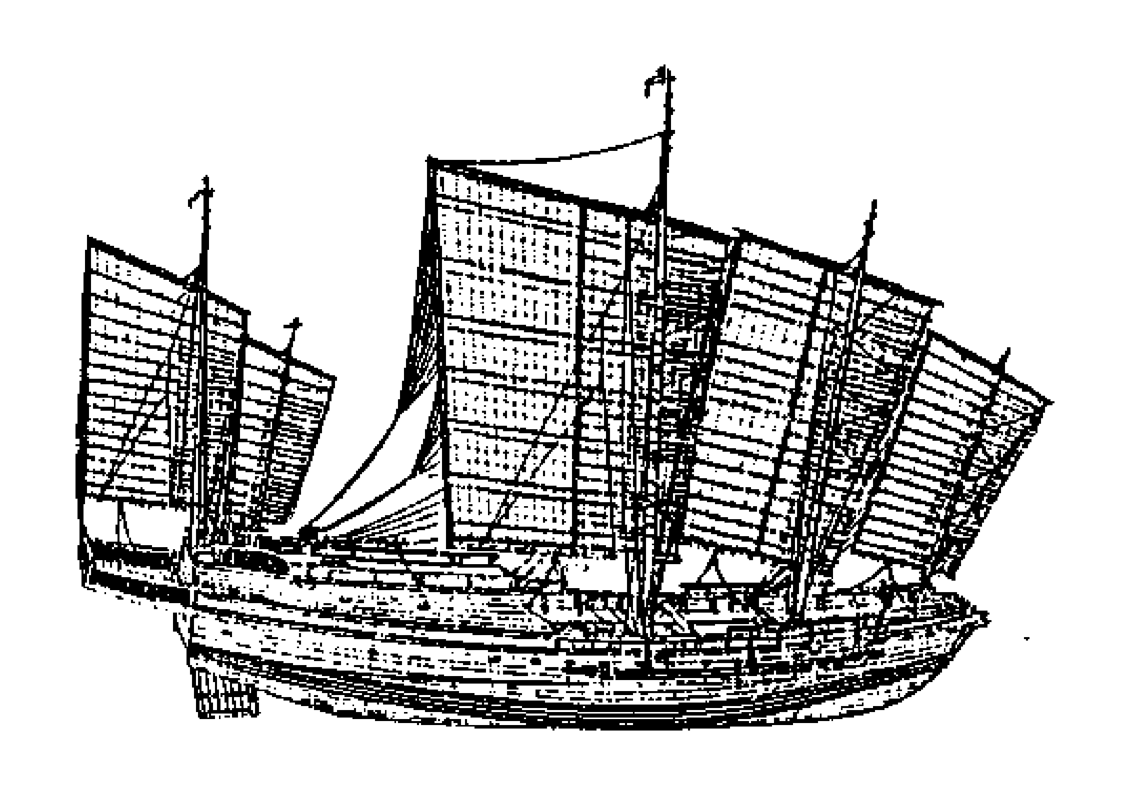


图1　李约瑟书中的示意图。郑和的大船比图中的船还要大。(Joseph Needham, Science and Civilization in China, vol. IV:3, p.510, fig. 986, Cambridge University Press, 1954)

虽然中国古代技术如此进步，可是，到1600年中国科技却已远逊于欧洲。举一个例子：17世纪初，明朝政府要由葡萄牙人所占领的原属广东的澳门引进火炮技术。

到底中国在公元1400至1600年两个世纪里为什么如此落伍呢？

我并不想对这已有许多书籍和文章研究过的问题加以详细分析。概括讲来，公元1400年前好几个世纪，文艺复兴在欧洲崛

起，产生了巨大的文化与知识的进展。在公元1400至1600年的200年间，几乎人类各项活动在欧洲都有了长足的进展。从长远的角度来看，事实上技术领域的进展可能相对是最不重要的。在艺术、建筑和文学方面的进展都有更大的影响，它们使欧洲文化迈入了新的时代。但是如果就影响来看，"自然哲学"的进展恐怕是最重要的，因为它为近代科学的萌芽准备了肥沃的土壤。只需列举这200年间欧洲一些伟大思想家的名字已足够看出这些进展的气势与其长远的影响：

达·芬奇（Leonardo da Vinci, 1452—1519）、哥白尼（N. Copernicus, 1473—1543）、马丁·路德（Martin Luther, 1483—1546）、加尔文（John Calvin, 1509—1564）、纳皮尔（John Napier, 1550—1617）、培根、伽俐略（Galileo Galilei, 1564—1642）、开普勒（Johannes Kepler, 1571—1630）、哈维（William Harvey, 1578—1657）、笛卡尔（René Descartes, 1596—1650）。

相反地在中国，1400至1600年这200年是一段知识停滞不前的时期。这时期中最著名的哲学家是王守仁（即王阳明，1472—1528）。他的学说，我认为没有对中国思想或中国社会产生什么真正的长远影响。比起上面列举的欧洲大思想家对后世的影响，王守仁的影响是望尘莫及的。他的部分思想可以被解释为反科学的。可是，即使是这一部分，在以后的几个世纪中亦没有产生多少影响。

公元1687年——近代科学在欧洲诞生

到17世纪初年，文艺复兴在欧洲已为近代科学的萌芽准备了肥沃的土壤。近代科学是人类的一种新活动、新精神、新方法，有人认为是新宗教。如果要给它的诞生一个确定的日期，我会选择1687年，即牛顿（Isaac Newton, 1642—1727）发表他的《自然

哲学的数学原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica，以下简称《数学原理》)的一年。《数学原理》使人类第一次对“世界系统”[3](即太阳系)有了定量的了解，而太阳系的运转是任何一个古文明中一项最神奥的秘密。更重要的是这个了解是基于一种纯理论的思考体系，用准确的数学语言，既简单又净洁，既精密又包罗万象。可以说，在公元 1687 年诞生了的是一种革命性的新世界观：宇宙具有极准确的基本规律，而人类可以了解这些规律(见图 2)。

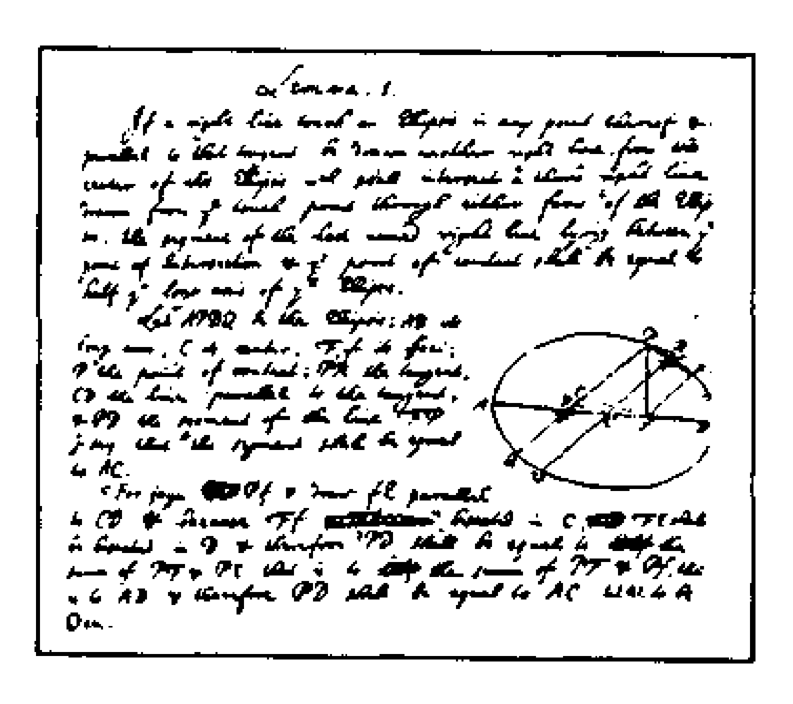


图 2　牛顿的《数学原理》手稿的一段。请注意牛顿倚重几何推理方法。(Isaac Newton, The Preliminary Manuscripts for Isaac Newton's 1687 Principia, 1684—1685 p. 243, Cambridge University Press, 1989)

必须强调的是，虽然在《数学原理》发表了 300 多年后的今天，我们可以充分看到它的深远影响，但牛顿自己却不能在出版这书时即对其长远意义有着同样的评价。当然他知道自己完成了一个极漂亮的工作，但他却不可能意识到自己的工作将会改变人类对物理和生物世界基本结构的理解，会永远地改变人类与环

境的关系。

查看牛顿的手稿，就会发现其中掺杂着许多许多哲学、神学、炼金术等等玄虚的思考。牛顿在这么众多纷扰的思考中竟能集中注意力完成了他的科学工作，是一个奇迹。20世纪有名的经济学家凯恩斯(J. M. Keynes, 1883—1946)曾经说：

> 自18世纪起，牛顿便被认为是近代第一个、也是最伟大的科学家，一位理性论者，一位教导人们机械推理法的先驱。但是我不同意此看法。……牛顿不是理性时代的先行者，他是最后一个魔术师，最后一个巴比伦人和苏美尔人、一万年以前我们的远祖开始创建人类思维文化，发展了对周围世界的看法，牛顿是他们之中的最后一位伟人。④

公元1600至1900年——中国抗拒引入西方思想

查看《数学原理》，就会发现古希腊几何学在牛顿身上的深远影响。《数学原理》全书的结构完全是以欧几里得(Euclid，约公元前300年)的《初探》(Elements)为样本的：两本书都从定义(definitions)开始，然后是公理(axioms)——牛顿称其为“普通的意见”(common opinions)——再是引理(Lemma)、命题(propositions)和证明(proofs)等等。

欧几里得对牛顿的《数学原理》的影响是明显的，是人所共知的。不是那么为人所共知的是在《数学原理》发表约80年前，在1607年，利玛窦(Matteo Ricci, 1552—1610)和徐光启(1562—1633)即已将欧几里得的《初探》的前一半翻译成中文，取名为《几何原本》。(见图3)

利玛窦是一位意大利耶稣会传教士，亟欲在中国传播天主教教义。他于1582年抵澳门，1583年到达广东的首府肇庆。他几

幾何原本第一卷之首
泰西利瑪竇口譯
吳淞徐光啓筆受
界說三十六則
凡造論先當分別解說論中所用名目故曰界說
凡歷法地理樂律算章技藝工巧諸事有度有數者皆依賴十府中幾何府屬凡論幾何先從一點始自點引之爲線線展爲面面積爲體是名三度
第一界
點者無分

《天学初函》第4卷中的《几何原本》第一页

图3 《天学初函》第4卷中的《几何原本》第一页。

次尝试去北京都没有成功，最后于1601年正月才到达。他的计划是凭藉他的科学知识获得明朝朝廷的注意，从而扩大他在中国的传教事业。

徐光启是一位来自上海的大臣，也是一位大学者，1604年进入翰林院。在这一年以前，他在南京受浸洗礼入了天主教。他和利玛窦翻译《几何原本》的前一半是他将欧洲科学引进中国的许多工作中的一项。此译文的初版至今仍能见于中国的一些图书馆。我听说梵蒂冈也仍存一本。

读了徐光启自己对其译作的描述，就会意识到他是多么清楚地明白欧几里得和中国学者在逻辑思考方面的基本差异。他这样描述欧几里得的思考系统："似至晦，实至明；似至繁，实至简；似至难，实至易。"他认为欧几里得的理论是"欲前后更置之不可得"，就是说在演绎推论中，各个步骤有一定的逻辑顺序。

徐光启是一位重要的明朝高官。他担任过多种职务：政治、

经济、国防、农业、天文、测量、治水等等。他一直强调数学在这些领域中的重要性和《几何原本》在数学中的重要性。他感到惋惜的是利玛窦和他未能完成全书的翻译："续成大业，未知何日？未知何人？书以俟焉。"

这一等就等了250年，直到1857年，李善兰(1811—1882)和伟烈亚力(A. Wylie，1815—1887)才译出《几何原本》中剩下的篇章。在这250年中，近代科学在欧洲诞生了，工业革命开始了，欧洲殖民扩张政策亦到达了其顶峰。人类的历史正加速演变，给世界所有民族带来了多种不同的命运。

这些年间中国依然停滞不前。那些阻碍中国萌生近代科学的多种原因仍然存在：缺乏独立的中产阶层，学问就只是人文哲学的观念，教育制度里缺匮"自然哲学"这一项，束缚人们思想的科举制度，以及缺少准确的逻辑推论的传统，凡此种种都没有因为耶稣会传教士引入了少许西方思想而有所改变。

传教士东来之时，正是中土为满洲人所蹂躏与征服的时代。满洲人建立了清朝政府以后，许多中国学者强烈地表达了他们的愤怒和不合作态度。康熙(1662—1722年在位)是清朝早年的一位皇帝，是一个非常精明聪敏的人。他对付当时夷夏之辩所采取的政策是务求将清廷纳入中国古代伟大的文化传统中。此一政策虽颇为成功，但汉族之反抗情绪仍然存在。在这样一个充满种族对抗/妥协的社会中，传教士们极力推行其基本政策——将中国官员变成天主教徒。可是天主教对汉文化来说，比满洲文化更要"夷"一些。所以传教士的活动之引起反抗是不可避免的。

杨光先(1597—1669)是一个典型的、强烈反对传教士和他们引进的所有科学知识的例子。他写过以下一段有名的文字：

宁可使中夏无好历法
不可使中夏有西洋人

今天，我们会认为杨光先的见地既狭窄，又愚昧。但是有清一代，他却有无数的景仰者。譬如在 1846 年，差不多是他死后 200 年，钱绮[5]说杨光先是："正人心息邪说，孟子之后一人而已。"

另一阻碍西方科学在中国发展的原因，是刘钝[5]和 Sivin[6]所强调的：传教士们没有将开普勒和牛顿的工作全部带入中国，以致他们介绍的天文学里有前后不相容之处，引导出了极大的混乱。直到 19 世纪中期，当李善兰和艾约瑟(Joseph Edkins, 1823—1905)翻译了一本 19 世纪的教科书，取名为《重学》以后，牛顿的力学才首次被引进中国。

传教士们在 17 世纪为中国打开的知识窗口没有留下真正长远的影响。它没有使近代科学在中国"本土化"(用撒布若 Sabra 教授的名词)。它只在这个古老而骄傲的、长久以来自以为是世界中心的民族中，引导出了一个理论，叫作"西学中源"，就是说西方的学问原来是自古中国传去的。在康熙的支持和怂恿下，这个理论直到 19 世纪中叶曾广泛地被中国数学家和天文学家们接受与支持。表 1(刘钝制)[5]列举了支持西学中源说的一些例子。

看到梅文鼎(1633—1721)和戴震(1724—1777)等极端聪明的大学者都全力支持并传布西学中源说，就令人体会到当深厚的文化出现斗争冲突的时候，要转移观点而接受外来文化中的优点是多么困难的事。

公元 1840 至 1900 年——引入现代科学举步维艰

1840 年是中国人不会忘记的年头。这一年，英国用炮艇强迫中国割地赔款，并开放商港以便利其贩卖鸦片的勾当，从而开始了这个古老而骄傲的民族被剥削凌辱的时代。也正是这些痛苦的年月最后迫使这个民族认识到过去的社会秩序不能继续下去，必须自西方引进新的思想、新的社会与政治体制和新的教育

表1　西学中源理论举例

（节录自本文参考文献⑤所列刘钝的第三篇文章）

领域	西　学	中　源	提　倡　者
天文	水晶球宇宙模型	《楚辞·天问》:“圆则九重”	王夫之
	行星运动	“天道左旋”/“盈缩迟疾”	王夫之/王锡阐
	诸曜异天	郄萌“宣夜说”	阮元
	太阳高卑	《考灵曜》“地有四游”	阮元
	地圆	《黄帝内经·素问》“地之为下”/曾子	梅文鼎/阮元
	地动	张衡地动仪	阮元
	蒙气差	姜岌“地有游气”	阮元
	寒暖五带	《周髀》“七衡六间”	梅文鼎
	浑盖通宪仪、简平仪	盖天古法	梅文鼎
数学	数学理论	《易经》	玄烨
	代数学	东来法/天元术/四元术	玄烨/梅珏成/戴震、阮元
	几何学	《周髀》/勾股术	黄宗羲/梅文鼎
	三角学	《周髀》“用矩之道”	玄烨/梅文鼎
	幂级数	祖冲之“缀术”	阮元
	微积分	招差垛积	诸可宝

哲学。这些年月间，似乎每一次大灾难都曾导致清廷尝试少许现代化的措施，然而，通常都会遇到极大的阻力，然后总是因为短期内不见成效而被放弃。例如自1872年起每年皆送了30名男孩去美国康涅狄格州的哈特佛（Hartford）镇上小学和中学⑦。可是在1876年，这项措施遭到了抨击，终使全体学生在1881年被召回国。

列强的凌辱所产生的精神创伤使中华民族有了复杂的自卑感：东方人是否天生不适宜于做现代科学工作呢？在19世纪末当达尔文的进化论被用来佐证白种人的帝国主义侵略政策时，许多中国知识分子在灵魂深处曾为这样的问题所困扰。这不只发生在中国，在日本，长冈半太郎（1865—1950），后来成为第一个在

国际上出名的日本物理学家，也早在1883年进入东京大学之前便曾考虑过这个问题。他经过仔细的研究，认识到中国古哲学家如庄子(约公元前369—286年)的深入的识见以后，才得出东方人同样有能力研究现代科学的结论。

另外还有一种说法是，中国语言是科学思想发展的主要障碍。这种理论曾被推至极端，以致有人曾建议中国语言必须被废除。自此可以看出中国知识分子当时的极度绝望的心理状态。

公元1900至1950年——急速引进现代科学

标志中国真正开始引进现代科学的有下列三项事件：

·1898年，京师大学堂(北京大学的前身)的成立；

·1905年，科举制度的废止；及

·1896年到1898年间开始[7]派遣学生东渡日本留学。

到1907年，大约已有1万名中国学生在日本留学。几年后，留学浪潮蔓延至美国和欧洲。这些早期的留学生在出国前没有机会接触现代科学。到了外国以后，绝大多数没有攻读较高的学位。但是，就是这批学生才真正地开展了引进近代科学的工作：他们回国后，很多做了教师。而这些教师的学生们就有机会在出国前接触到一些近代科学知识。到这些学生们去外国留学时，他们便有能力学习前沿的科学，取得硕士与博士的学位。

首批的中国物理学博士大多是在美国取得学位的。(见表2[8])

上面讲到，引进近代科学在中国是一个争辩了几百年才达到的决心。可是在下了决心以后，进度却是惊人地快速。最早三位中国理论物理学博士可见于表2(b)。他们都是我父亲杨武之(1896—1973)的同代人。他们这一代在取得学位后都回国担任教职。其中周培源和吴大猷两位先生是我在昆明上大学和上研

表 2 (a)最早四位中国实验物理学博士和取得学位的学校
(b)最早三位中国理论物理学博士和取得学位的学校

(a)	李复几(1855—?)	1907 年	德国波恩大学
	李耀邦(1884—?)	1914 年	芝加哥大学
	胡刚复(1892—1966)	1918 年	哈佛大学
	颜任光(1888—1968)	1918 年	芝加哥大学
	*	*	*
(b)	王守竞(1904—1984)	1927 年	哥伦比亚大学
	周培源(1902—1993)	1928 年	加州理工学院
	吴大猷(1907—)	1933 年	密西根大学

究院时(1938—1944 年)的老师。那几年我在昆明学到的物理已能达到当时世界水平。譬如说:我那时念的场论比后来我在芝加哥大学念的场论要高深,而当时美国最好的物理系就在芝加哥大学。可见两代先辈引进了足够的近代科学知识,令我这代人可以在出国前便进入了研究的前沿!

公元 1950 至 2000 年——中国开始加入国际科技竞赛

上面讲到,这个世纪的头 50 年,近代科学的精神与内容都急速地渗入中国,在中国社会产生了巨大的和历史性的影响。但是在 20 世纪中叶以前,我们仍不能说近代科学在中国已经“本土化”了(用撒布若教授的观念)。渗入的程度不够,可见于下列各因素:

·涉及科学的人数仍然不多;

·涉及科学的层面仍然不多;

·缺乏工业基础支持研究与发展;

·连年的战祸:军阀混战,抗日战争和国共内战等等,不能为研究工作提供一个稳定的社会、政治和经济环境。

随着 1949 年中华人民共和国的成立,这些因素都被一扫而

清。文化大革命前的17年里(1949—1966年),中国的土地上有了惊人的发展。现代科学终于在中国“本土化”了:数以百万计的科学家和工程师被训练出来了,复杂的研究与发展架构被建设起来了,巨大的科技成果完成了。(见表3)

20世纪也目睹了中国人对自己的重新认识。上面说过,这世纪初,中国人对自己追求近代科学的能力有过怀疑。但是今天中国人已相信近代科学并不只是白种人才能做的。这种信念的起因有很多因素,表3所列的种种成就当然是其一,但是还有其他的因素:日本利用科技发展惊人地成长为世界经济强国;东方人在各种科技领域中获得了许多灿烂的成就;在欧美院校里中国学生杰出的表现;这些都为这一影响深远的自我重新估价扮演了重要的角色。

表3　中国与其他强国重要科技成就的时间比较

第一次制成	年份					
	美国	苏联	英国	法国	日本	中国
反应堆	1942	1946	1947	1948	-	1956
原子弹	1945	1949	1952	1960	-	1964
氢弹	1952	1953	1957	1968	-	1967
卫星	1958	1957	-	1965	1970	1970
喷气机	1942	1945	1941	1946	-	1958
M2飞机	1957	1957	1958	1959	-	1965
试制计算机	1946	1953	1949	-	1957	1958
计算机(商品)	1951	1958	1952	-	1959	1966
半导体原件	1952	1956	1953	-	1954	1960
集成电路	1958	1968	1957	-	1960	1969

From N. Bloembergen: *Science in Contemporary China*, Ed. L. A. Orleans(Stanford Univ. Press, 1980).

21 世 纪

概括说来，我们可以这样总结：公元1600—1900年三个世纪里，儒家保守思想所产生的文化和知识方面的惯性抗拒了西方近代科学的引进。其中最后的60年里，先是英国，继而其他欧洲列强，然后日本和美国都先后以现代武器欺凌落后的中国人。割地赔款之外，更留下了灵魂深处的心理创伤。只到最后忍无可忍的关头，中国才在公元1900年真正开始引进西方近代科学。此后的进步却是惊人地神速，所以在20世纪的后半部，可以说近代科学已在中国“本土化”了。

那么下一个世纪又会怎样呢？

要准确地预测未来的事情是不可能的。可是历史长流却必然有长远的因素。下面列举的中国社会特征我相信将对下一世纪的中国科技发展起决定性的作用：

（甲）人口众多的中国拥有千百万极聪明的青年。只讲一下我个人的经验：我在中国念小学、中学和大学时，都曾有许多十分聪明的同学。如果能获得适当的机会，相信他们里面很多位都会在科技领域中崭露头角。

（乙）儒家文化注重忠诚，注重家庭人伦关系，注重个人勤奋和忍耐，重视子女教育。这些文化特征曾经，而且将继续培养出一代又一代勤奋而有纪律的青年。（与此相反，西方文化，尤其是当代美国文化，不幸太不看重纪律，影响了青年教育，产生了严重的社会与经济问题。）

（丙）儒家文化的保守性是中国三个世纪中抗拒吸取西方科学思想的最大原因。但是这种抗拒在今天已完全消失了。取而代之的是对科技重要性的全民共识。

（丁）自1978年起，中国经济猛进，每年都有超过百分之九

的增长。一些经济学家[9]相信中国将在2010年左右变成世界上国民生产总值最大的国家。即使这个推测过于乐观，中国也必会在那时成为世界工业强国之一。

也许有人会说中国将会有政治问题：领导更替的危机，意识形态的危机，贫富不均的危机，外交危机等等。不错，无可避免很多这类问题都会发生。但是试看一下20世纪的中国：两次大革命、军阀混战、日本入侵、朝鲜战争、灾难性的文化大革命等等，都是大危机。可是这些危机没有一个阻止了中国在这个世纪科技上的卓越飞跃。为什么？因为做科学工作其实[10]并不困难。必要的条件只是上面所讲的四项，可以概括为才干、纪律、决心与经济支援。中国在这个世纪已经具备了前三项条件，到了下一个世纪将四者俱备。

所以我的结论是，到了21世纪中叶，中国极可能成为一个世界级的科技强国。

参考文献：

① Francis Bacon, *The New Organon and Related Writings*, p. 118(Library Arts Press, 1960).

② J. Needham and Collaborators, *Science and Civilization in China* (Cambridge University Press, 1954).

③ 《自然哲学的数学原理》第三卷的标题是《世界系统》。

④ J. M. Keynes, *Essays and Sketches in Biography* (Meridian Books, N. Y., 1956).

⑤ 见刘钝，《自然辩证法通讯》第八期，卷一，页52(1986年)；第十一期，卷三，页55(1989年)；第十三期，卷三，页42(1991年)。

⑥ N. Sivin, Science and Medicine in Chinese History, in *Heritage of China*, ed. P. S. Ropp, p. 164 (University of California Press, 1990).

⑦ 见姚蜀平，《中国留学运动初探》(预印本)。

⑧ 制作此表时,作者曾与张奠宙教授讨论,并从他发表于《二十一世纪》第七期,页72(香港中文大学,1991年)的文章,以及从钱临照教授、孟大中教授两位的信件,取得不少有用的资料。

⑨ The Titan Stirs, in *the Economist*, November 28, 1992.

⑩ 徐光启的三似三实说(见上文)已经道破了科学研究其实不难的真谛。

邓稼先(1993)

本文原载《二十一世纪》双月刊,1993年6月号第17期,中国文化研究所,香港中文大学。

从"任人宰割"到"站起来了"

100年以前,甲午战争和八国联军的时代,恐怕是中华民族5000年历史上最黑暗最悲惨的时代。只举1898年为例:

德国强占山东胶州湾,"租借"99年。

俄国强占辽宁旅顺大连,"租借"25年。

法国强占广东广州湾,"租借"99年。

英国强占山东威海卫与香港新界。前者"租借"25年,后者"租借"99年。

那是任人宰割的时代,是有亡国灭种的危险的时代。

今天,一个世纪以后,中国人站起来了。

这是千千万万人努力的结果,是许许多多可歌可泣的英雄人物创造出来的,在20世纪人类历史上可能是最重要的、影响最深远的巨大转变。

对这巨大转变作出了巨大贡献的有一位长期以来鲜为人知的科学家:邓稼先(1924—1986)。

两弹元勋

邓稼先于1924年出生在安徽省怀宁县[①]。在北平上小学和中学以后，于1945年自昆明西南联大毕业。1948到1950年在美国普渡大学(Purdue University)读理论物理，得到博士学位后立即乘船回国，1950年10月到中国科学院工作。1958年8月被任命带领几十个大学毕业生开始研究原子弹制造的理论。

这以后28年间邓稼先始终站在中国原子武器设计制造和研究的第一线[②]，领导许多学者和技术人员，成功地设计了中国的原子弹和氢弹，把中华民族国防自卫武器引导到了世界先进水平：

1964年10月16日中国爆炸了第一颗原子弹[③]。

1967年6月17日中国爆炸了第一颗氢弹[④]。

这些日子是中华民族5000年历史上的重要日子，是中华民族完全摆脱任人宰割时代的新生日子！

1967年以后邓稼先继续他的工作，至死不懈，对国防武器作出了许多新的巨大贡献[⑤]。

1985年8月邓稼先做了切除直肠癌的手术。次年3月又做了第二次手术。在这期间他和于敏联合署名写了一份关于中华人民共和国核武器发展的建议书[⑥]。1986年5月邓稼先再做了第三次手术。7月29日因全身大出血而逝世[⑦]。

“鞠躬尽瘁，死而后已”，正好准确地描述了他的一生。

邓稼先是中华民族核武器事业的奠基人和开拓者。张爱萍将军称他为“两弹元勋”，他是当之无愧的。

邓稼先与奥本海默

抗战开始以前的一年，1936年到1937年，稼先和我在北平

崇德中学同学一年。后来抗战时期在西南联大我们又是同学。以后他在美国留学的两年期间我们曾住同屋，50年的友谊，亲如兄弟。

1949年到1966年我在普林斯顿高等学术研究所工作，前后17年的时间里所长都是物理学家奥本海默(J. R. Oppenheimer, 1904—1967)。当时他是美国家喻户晓的人物，因为他曾成功地领导战时美国的原子弹制造工作。高等学术研究所是一个很小的研究所，包括奥本海默在内，物理教授最多的时候只有5个人，所以他和我很熟识。

奥本海默和邓稼先分别是美国和中国原子弹设计的领导人，各是两国的功臣，可是他们的性格和为人截然不同——甚至可以说他们走向了两个相反的极端。

奥本海默是一个拔尖的人物，锋芒毕露。他20多岁的时候在德国哥廷根镇(Göttingen)做玻恩(M. Born, 1882—1970)的研究生。玻恩在他晚年所写的自传[8]中说，研究生奥本海默常常在别人做学术报告时(包括玻恩做学术报告时)，打断报告，走上讲台拿起粉笔说"这可以用底下的办法做得更好，……"。我认识奥本海默时他已40多岁了，已经是家喻户晓的人物了，打断别人的报告，使演讲者难堪的事仍然不时出现，不过比起以前要较少出现一些。

奥本海默的演讲十分吸引人。他善于辞令，听者往往会着迷。1964年为了庆祝他60岁的生日，三位同事和我编辑了一期《近代物理评论》，在前言中[9]我们写道：

> 他的文章不可以速读。它们包容了优雅的风格和节奏。它们描述了近世科学时代人类所面临的多种复杂的问题，详尽而奥妙。

像他的文章一样，奥本海默是一个复杂的人。佩服他，仰慕他的人很多。不喜欢他的人也不少。

邓稼先则是一个最不引人注目的人物。和他谈话几分钟就看出他是忠厚平实的人。他诚真坦白，从不骄人。他没有小心眼儿，一生喜欢“纯”字所代表的品格。在我所认识的知识分子当中，包括中国人和外国人，他是最有中国农民的朴实气质的人。

我想邓稼先的气质和品格是他所以能成功地领导许许多多各阶层工作者为中华民族作了历史性贡献的原因：人们知道他没有私心，人们绝对相信他。

文革初期他所在的研究院（九院）成立了两派群众组织，对吵对打，和当时全国其他单位一样。而邓稼先竟有能力说服两派[10]，继续工作，于 1967 年 6 月成功地制成了氢弹。

1971 年，在他和他的同事们被四人帮批判围攻的时候[11]，如果你和我去和工宣队军宣队讲理，恐怕要出惨案。邓稼先去了，竟能说服工宣队军宣队的队员。这是真正的奇迹。

邓稼先是中国几千年传统文化所孕育出来的有最高奉献精神的儿子。

邓稼先是中国共产党的理想党员。

我以为邓稼先如果是美国人，不可能成功地领导美国原子弹工程；奥本海默如果是中国人，也不可能成功地领导中国原子弹工程。当初选聘他们的人，钱三强（1913—1992）和格若夫斯（L. R. Groves, 1896—1970），可谓真正有知人之明，而且对中国社会、美国社会各有深入的认识。

民族感情？友情？

1971 年我第一次访问中华人民共和国。在北京见到阔别了 22 年的稼先。在那以前，于 1964 年中国原子弹试爆以后，美国

报章上就已经再三提到稼先是此事业的重要领导人。与此同时还有一些谣言说1948年3月去了中国的寒春(中文名字,原名Joan Hinton)曾参与中国原子弹工程。〔寒春[12]曾于40年代初在洛斯阿拉莫斯Los Alamos武器试验室做费米(E. Fermi, 1901—1954)的助手,参加了美国原子弹的制造,那时她是年轻的研究生。〕

1971年8月在北京我看到稼先时避免问他的工作地点。他自己说"在外地工作"。我就没有再问。但我曾问他,是不是寒春曾参加中国原子弹工作,像美国谣言所说的那样。他说他觉得没有,他会再去证实一下,然后告诉我。

1971年8月16日,在我离开上海经巴黎回美国的前夕,上海市领导人在上海大厦请我吃饭。席中有人送了一封信给我,是稼先写的,说他已证实了,中国原子武器工程中除了最早于1959年底以前曾得到苏联的极少"援助"以外,没有任何外国人参加。

此封短短的信给了我极大的感情震荡。一时热泪满眶,不得不起身去洗手间整容。事后我追想为什么会有那样大的感情震荡,为了民族的自豪?为了稼先而感到骄傲?——我始终想不清楚。

"我不能走"

青海、新疆、神秘的古罗布泊、马革裹尸的战场。不知道稼先有没有想起我们在昆明时一起背诵的吊古战场文:

> 浩浩乎!平沙无垠,夐不见人。
> 河水萦带,群山纠纷。
> 黯兮惨悴,风悲日曛。蓬断草枯,凛若霜晨。
> 鸟飞不下,兽铤亡群。亭长告余曰:
> "此古战场也!常覆三军。往往鬼哭,天阴则闻!"

稼先在蓬断草枯的沙漠中埋葬同事,埋葬下属的时候不知是

什么心情？

“粗估”参数的时候，要有物理直觉；筹划昼夜不断的计算时，要有数学见地；决定方案时，要有勇进的胆识，又要有稳健的判断。可是理论是否够准确永远是一个问题。不知稼先在关键性的方案上签字的时候，手有没有颤抖？

戈壁滩上常常风沙呼啸，气温往往在零下30多度。核武器试验时大大小小临时的问题必层出不穷。稼先虽有“福将”之称，意外总是不能免的。1982年，他做了核武器研究院院长以后，一次井下突然有一个信号测不到了，大家十分焦虑，人们劝他回去。他只说了一句话：

我不能走。

假如有一天哪位导演要摄制邓稼先传，我要向他建议背景音乐采用五四时代的一首歌，我儿时从父亲口中学到的：

5 5 5 5 | 5·6 4·5 3·3 1 |
中 国 男 儿 中 国 男 儿

2 2 2· 2 | 2·3 1·2 5 - |
要 将 只 手 撑 天 空

6 6 5 5 1 1 6 6 | 2 2 1 1 3 3 2 2 |
长 江 大 河 亚 洲 之 东 峨 峨 昆 仑 ……

………………

| 2 2 3 3 1 1 2 |
古 今 多 少 奇 丈 夫

6 6 5 5 1 1 3 3 | 2·1 2·1 2 5 |
碎 首 黄 尘 燕 然 勒 功 至 今 热 血 犹 殷

1 - |
红

我父亲诞生于1896年，那是中华民族仍陷于任人宰割的时代。他一生都喜欢这首歌曲。

永恒的骄傲

稼先逝世以后，在我写给他夫人许鹿希的电报与书信中有下面几段话：

——稼先为人忠诚纯正，是我最敬爱的挚友。他的无私的精神与巨大的贡献是你的也是我的永恒的骄傲。

——稼先去世的消息使我想起了他和我半个世纪的友情。我知道我将永远珍惜这些记忆。希望你在此沉痛的日子里多从长远的历史角度去看稼先和你的一生，只有真正永恒的才是有价值的。

——邓稼先的一生是有方向、有意识地前进的。没有彷徨，没有矛盾。

——是的，如果稼先再次选择他的途径的话，他仍会走他已走过的道路。这是他的性格与品质。能这样估价自己一生的人不多，我们应为稼先庆幸！

注：

①②⑥⑩　葛康同、邓仲先、邓槜先、许鹿希著：《两弹元勋邓稼先》(新华出版社，1992)。关于邓稼先的生平可参阅《中国现代科学家传记》第一集p178(科学出版社，1991)，胡思得所撰：邓稼先。

③④　关于中国原子弹与氢弹研制工作描述得最详尽的是J. W. Lewis and L. Xue: *China Builds the Bomb* (Stanford University Press, 1988)。此书(201页)把中国的氢弹设计称为“邓于方案”。邓是邓稼先，于是于敏。国际上称美国的氢弹设计为“Teller-Ulam方案”，苏联的为“Sakharov方案”。

⑤　邓稼先逝世三年以后，于1989年夏，中国政府再颁发给他一次特等

奖(见①),表彰他的贡献。

⑦ 邓稼先的医生和他的夫人都认为他的疾病与他工作期间曾受到的大量辐射可能有关。

⑧ Max Born: *My Life* (Scribners, 1975).

⑨F. Dyson, A. Pais, B. Stromgren and C. N. Yang: *Reviews of Modern Physics*, 36(1964), 507.

⑪ 于敏:《悼念邓稼先同志》,《光明日报》1986年8月24日。

⑫ 寒春和我在1946到1948年间在芝加哥大学物理系同为研究生,且同一实验室。她1948年以后在中国居住。近年来时常访问美国。我多次劝她写她的自传,希望她有一天会写出来。

吴大猷先生与物理(1994)

本文原载《吴院长荣退研讨会论文》，台北中央研究所，1994年。

吴大猷先生于1907年9月29日出生于广州。祖父吴桂丹(号秋舫，1855—1902)是进士，曾任翰林院编修。父亲吴国基(1879？—1911)是举人。1920年吴先生在番禺县的高等小学毕业(相当于今天的小学与初中)。1921年赴天津入南开中学。1925年考入南开大学，1929年毕业。1931年进入密西根大学研究院，1933年得博士学位后留校继续研究，次年回国到北大任教。

抗战时期吴先生在昆明西南联大任物理系教授。1946至1949年先后在密西根大学与哥伦比亚大学任教。1949至1963年任加拿大国家科学院物理所理论部门主任，1963至1978年历任纽约理工学院与纽约州立大学水牛城分校物理系教授及主任，1978年退休。1983至1994年任中央研究院院长。

吴先生对学术界对社会的多种贡献今明两天许多位要详细讨论，我在这里只谈谈其一端：吴先生对物理学的贡献和对物理学研究者的影响。

吴先生在物理学的研究方向极广，可以说包括了近代理论物理之全部：分子物理、原子物理、核物理、等离子体物理、散射物

理、统计物理、天文与大气物理。他发表了10本专著，上百篇论文，七本研究生用教科书。在这里我不能一一详述吴先生的研究工作，只能介绍其中一两项。

吴先生的博士论文是1932至1933年在密西根大学写的，是他自己想出的题目：原子周期表中第二类稀土元素应自何元素开始。这是一个**极好的题目**。在研究过程中出现了一个不简单的数学问题，他用了**新的方法**处理此问题，这也是他自己研究出来的。

研究的结论是：在铀（原子数＝92）的附近可能要出现第二类稀土元素。关于此结果的文章吴先生于1933年发表。可惜当时几乎没有人研究铀与比铀更重的元素，所以他的文章没有引起人们的注意。到了1940年裂变现象（fission）被发现了，铀与比铀更重的元素顿时成了最热门的题目。为了寻找这些重元素就要知道它们的化学性质，也就是说必须了解它们在周期表中的位置。吴先生的工作在这里起了重要作用。

1941年M. G. Mayer（1906—1972，于1963年获诺贝尔奖）在费米的建议下，做了与吴先生基本相同的计算，得到了同样的推论。她当时显然不知道吴先生8年以前的那篇文章，她的文章发表以后，才有人指出吴先生早已得到了同样的结果。

吴先生回国后先在北大教书，后来于抗战时期在昆明西南联大教书，前后在国内教书12年。课堂上学生数目极多。其中跟他做过研究工作的同事与学生有：郑华炽、薛琴访、江安才、马仕俊、沈寿春、黄昆、杨振宁等。1946年吴先生特选两个学生：朱光亚和李政道，带他们到美国入研究院，对他们两人的生平有极大影响。

吴先生是中国理论物理学者得博士学位的第三人（1933）。比他早的两位是王守竞（1904—1984，1927年哥伦比亚大学博

士)和周培源(1902—1993,1928年加州理工学院博士)。王先生回国后在浙大和北大短期任教后即转入政府工作。周先生回国后一直在大学教书,做研究,是中国广义相对论研究和流体力学研究的带头人。吴先生则是量子力学研究,以及用量子力学而发展出来的许多新领域的研究在中国的带头人。

量子力学是20世纪物理学最重要的革命性的新发展。于1925至1927年奠基以后,影响巨大。今日的分子、原子、核子、基本粒子、固态物理学全部植根于量子力学。影响且旁及化学与分子生物学。它的工业应用也十分广泛。没有量子力学,就没有今日的半导体元件,也就没有今日的计算机。吴先生带头引进量子力学到中国是近代科学发展史中一项重要贡献。

抗战八年在昆明的生活十分艰苦。又加上吴太太那时生病在床,需要吴先生照顾。在这种种困难条件下,吴先生于1938至1939年写了一本权威性的专著:*Vibrational Spectra and Structure of Polyatomic Molecules*(《多原分子的结构及其振动光谱》),在上海出版,是当时世界分子物理学领域中最重要的"全书"。1946年美国Edwards印书厂选了一些物理学里各领域的经典著作翻印,吴先生的书即其中之一。

战后吴先生在美国,在加拿大,在台湾工作,始终未离开学术界。受他影响的学生与研究工作者,受他影响的学术单位多得不得了。我不一一讨论了。但是请准许我讲一件50多年前与30多年前的往事。

1942年春我在西南联大读四年级,为了写学士毕业论文,找吴先生做我的导师。吴先生把我引导到关于对称原理的研究,这对我以后的工作有极大影响。1957年10月31日我知道将得诺贝尔奖以后,在不断的电话铃声中给吴先生写了一封信,全文翻译于下:

大猷师：

值此十分兴奋，也是应深深自我反省的时刻，我要向您表示由衷的谢意，为了您在 1942 年春引导我进入对称原理与群论这个领域。我以后的工作的大部分，包括关于宇称的工作，都直接或间接与 15 年前的那个春天从您那里学到的观念有关。这是多年来我一直想告诉您的情意，今天或许是最好的时刻。

谨致敬意，并问候吴太太。　　　　　　生　振宁上

1957 年 10 月 31 日

THE INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

PRINCETON, NEW JERSEY

October 31, 1957

大猷师：

At this moment of great excitement, that also calls for deep personal reflection, it is my privilege to express to you my deep gratitude for having initiated me into the field of symmetry laws and group theory in the Spring of 1942. A major part of my subsequent work, including the parity problem, is traceable directly or indirectly to the ideas that I learned with you that Spring fifteen years ago. This is something that I have always had an urge to tell you, but today is a particularly appropriate moment.

With warm regards, also to Mrs. Wu.

As ever,

振宁上

OTTAWA 2.
Dec. 4, 1957

Dear Yang:

Your beautifully put letter at the same time made me happy and embarassed me indeed. Although I do not doubt the sincerity and thoughtfulness of your letter, I do not believe I had contributed much, certainly not group theory, to your physics. Naturally I cannot help being proud of the fact that chance had put you in my class; but my real satisfaction or self indulgence is that I was able to appreciate your worth, and that of Lee, 15 years (12 in the case of Lee) ago. Of course the news of your being awarded the Nobel Prize brought us a great joy - in fact, a feeling that could not be expressed adequately by any message of congratulations to you.

The following Monday after the news of your being awarded the Prize came over the radio, I gave a talk here in which I tried to explain the meaning of parity conservation in general to the people here and to emphasize the significance of your work and the experimental work of C. S. Wu et al. I have written up my lecture notes and I am enclosing a copy of them. I would appreciate your comments.

When are you going to Stockholm for the ceremony? I heard that your mother-in-law will be there too at the ceremony. By the way, she asked us to bring you two tins of tea last Spring at Taiwan. When we came back, you were in Europe so we did send then to you. We shall send them out in a few days.

With best wishes.

Yours sincerely.

Ta-You Wu

接受香港电台记者的访问记录

本文是作者于1995年1月28日接受香港电台记者访问时的谈话全文。此文之一部分刊于1995年2月9日之香港《信报》。

问：大家都知道最近两日西昌发射中心长征二号火箭发射的亚太二号通讯卫星，升空不到一分钟即爆炸了。其实十年前我有一次在加拿大逛商场的时候，忽然间人声鼎沸，人人奔走相告，面露惊惶之色，原来电视上直播肯尼迪中心的升空火箭发生爆炸，所有人都吓呆了。今次中国同样发生火箭爆炸事件，令人对中国的科技水平极为关注，杨教授，你作为蜚声国际的华人科学家，对此事件有何看法？

答：中国的科技水平是很高的，当然在很多地方比起西方最进步的国家仍有不足之处，但在火箭技术方面，全世界都认为中国的技术是很进步的。这次爆炸并不是很稀奇的事情，因为这种没有人的火箭，在国际上爆炸的例子多得很，过去11个月里，日本的火箭就已经爆炸了2个，原因是想用最少的钱把最大的重量打上去，所以设计的时候不能花太多的钱。这件事情对于香港的电视广播事业当然有些影响，我想也许要拖慢一两年了。

问：这次事件，会否大大打击外国对中国发射卫星技术的信心，或者拖慢中国在这方面的科技发展？

答：不然，因为国际上对中国的火箭技术是很佩服的。比如说美国的 Hughes（休斯）卫星公司就特别要让中国来替它制造，原因是中国造得比较便宜，而且过去几年的成绩很好。这次爆作事件一般人讲起来以为是很大的失败，其实在内行人看起来并不是那么稀奇的事情。

问：讲起科技，大家都知道它对于国家富强非常重要，你前年曾经公开估计 21 世纪中叶，中国极可能成为世界级科技强国。近日人人在谈论邓小平的健康，虽然他并没有实在的职务，但他实际上是控制着中国的。假如他逝世后，中国会变成怎样，无人能够预知，也许会出现政治混乱的局面，这样会否进一步拖慢中国的科技发展，因而令你的预测无法实现？

答：中国的科技发展跟世界各国的科技发展是一样的，当然会受到政治的影响。假如邓小平逝世后，中国发生大乱，对于科技的发展当然不利，不过我认为大乱不见得会发生，小乱恐怕不能避免，但小乱亦不见得会影响科技的发展。最好的例子，是过去从 1949 年至今，大陆发生过种种的动乱，比如说 1957 年开始有反右的事情，在 60 年代有很大的灾荒，到了文革的时候，又有很大的动乱。这些动乱对于科技发展当然都有影响，可是你从长期的发展来看，中国这 40 年来是有长足的进展，中国能够把火箭发射上去，正是一个很好的证明，今天中国的科技是相当进步，中国的火箭技术还要比日本来得先进。政治动乱会影响科技发展，不过总体的发展，从长远的角度来看，你会发现这些政治动乱是不能阻止科技的远程发展。

问：为什么你认为邓小平逝世后不会有大乱？

答：因为中国这 15 年来通过改革开放，人民的生活都提高了，不只是在大城市里，在乡村里人民的生活也提高了，这是所有到中国去看过的人都同意的看法，在这种情况下，大家都不愿意

动乱得太厉害。邓小平逝世后，中国现在的几位领导人，如江泽民、李鹏、乔石、朱镕基等，以及比他们年轻一些的领导人，我认为他们目前都有一个共识，就是维持一个稳定的状态对于中国最有好处，而且对于他们每一个人的工作亦有最大的好处，所以我想两三年之内不会发生很严重的问题，但两三年之后会发生什么问题则现在很难预料。大家必须要注意，今天中国的情形跟 1975、1976 年毛泽东快要去世的时候是完全不同的，那时情况很不稳定，而且没有一个已经行之好几年又有成绩的领导班子，当时的四人帮、华国锋等，都未被证明是有能力的领导人。今天的情况并不是这样，所以我想今天不会出现像 1976 年四人帮倒台时的状态。

问：从历史来看，中国人似乎先天上是比较优秀的，在古代已发明印刷术、火药、指南针、造纸术等等，而西方人当时并没有这些发明。

答：先天优秀说我觉得没有根据。一切发展都受当时社会的结构与社会的思想影响。中国古时候的发展对于实用比较注意，比如说你需要一个东西可以爆炸，所以中国就发明了火药；你需要一个东西可以告诉你往那一个方向走，所以中国就发明了指南针。可是对于理论的结构，中国以前不够注意，西方则承继了希腊人的传统，对于理论的结构非常注重，例如欧几里得的几何学，就钻研到非常深入的逻辑系统里去，这方面中国从前没有发展。另一方面，西方在文艺复兴以后，它们的政治、社会、经济结构跟中国明朝、清朝时候的结构完全不一样，这许多原因都使得近代科学没有在中国萌芽。

问：杨教授，本来中国是比较进步的，但在某一个时期科技却停止了发展，是否因为中国人一直生活在独裁和高压的统治下，欠缺了培育思想的环境，因而经历了数百年的科技黑暗期？

答：中国在明朝、清朝的时候，因为种种的缘故，科技不能够发展，从科技的历程来说，整个中国都裹足不前。不过到了民国初年，通过了五四运动，中国有了改变，就是愿意接受西方的科技思想，以及一些政治思想。我想你也知道五四运动时提出了赛先生与德先生，赛先生者就是 Science(科学)，德先生者就是 Democracy(民主)，这以后中国的科技有了长足的进展。我 1945 年到美国，是中国派人到西方吸取西方科技思想的第三代。第一代的人到日本去的时候，他们在国内没有念过科技，所以他们到国外通常只念到学士，或者是硕士就回国了。他们回国之后教授出来的便是第二代，即我父亲那一代，他们在中国已经学到了一些近代科技，所以当他们到美国、日本、欧洲留学时，很多人都取得了博士学位。他们回来后教授出来的便是第三代，就是我这一代，我们第三代的人很多在国内已经达到了科技的前沿，比如说 40 年代我在昆明西南联大念大学时所念的课，已经跟国际上的课可以看齐了。

问：其实 1900 年左右，中国开始认识到西方科技的发展对中国的重要性，所以派留学生出国。刚才你提到，中国目前有尖端的科技，但为何人民不能在日常生活中享受到成果？

答：实际上中国的一般老百姓已经享受了科技发展的成果。大家都知道这 15 年改革开放以来，中国经济大大的发展，能够发展得那么快，一部分是因为中国现在懂得做生意，但单单懂得做生意还不够，还需要有人知道怎样运用及修理从外面引进来的科技设备，所以另一部分原因是在改革开放以前中国对科技发展方面做了些准备工作。中国在 1949 年以后，训练了几百万科技人才，这些人才现在发挥了作用，所以我认为中国的科技发展对于今天中国的经济成长已经发挥了作用，而且以后还会发挥更大的作用。

问：那么是否目前的制度使得中国的尖端科技未能为普通的人民带来利益？

答：我想一定会受益的。过去这15年，中国的经济增长率是差不多每年百分之十，以后要继续维持这个增长率的话，必须要有科技的贡献，例如中国现在大大发展的生物工程，将来能够给国家赚来的财富是数不清楚的。中国现在有很多生物科技的人才，所以我相信在10年之内中国在这方面一定能创造出很多的财富，而这些财富是建筑在科技发展上面的。

问：过去一个世纪，中国饱受西方列强欺凌，为何仍然派学生去如美国等不太友好的国家留学，是否有政治目的？

答：我想不能讲政治目的，实在目的是很简单。比如说战时重庆的政府，非常清楚中国的科技太落后，不止是科技落后，整个学术水平都落后，所以就派人去留学。像我们一起于1945年出去的二十几个人是取得第六届清华留美公费的，这二十几个人后来有很多人在学术方面都有成就。

问：你1945年离开中国，到1971年才第一次回国，整整26年都没有回国，是否被人禁止，不准把科技带回中国？

答：我是1945年到美国的，至70年代初之间，我一直跟我在上海的父母亲经常通讯。那时有许多去美国念书的同学，不敢跟他们家里的人通讯，因为他们怕美国政府干涉，怕中国政府对他们的父母不利，可是我采取的态度是我跟我父母、兄弟姊妹通讯是天经地义的，没有人能够说不好，所以我们继续通讯。到了1970、1971年的时候，我看得出美国和中国政府了解到两个国家不通消息对两个国家都不好，那时候两个国家都认为苏联是最大的敌人，因此两个国家彼此都在想办法尝试可不可以有接触，大家都知道有所谓乒乓外交的事情。我就利用这机会，我认为这好像是关起来的门打开了一点，我想赶快回去，看看我父母。当时

有一些美国朋友，无论是华裔或不是华裔的都说你要小心，你回去可能被中国扣住，不让你出来。我说不会的，因为我对于中国政府有些了解，假如我回去以后跟中国政府说我愿意留在中国，中国一定会说欢迎，假如我不说这句话，他们是不会扣住我的。结果我是对的。

问：其实是否美国也不想你们回去中国？

答：美国起先不希望像我这样的人回去，因为他们怕中国人在美国学了科技回去帮助中国，所以在朝鲜战争发生的时候，杜鲁门下了一个命令，在美国得到科学技术博士学位的中国人不可以回中国。

问：你是饮"美国科技奶水"长大的人，50、60年代中美处于敌对状态，你一方面是中国人，受公费留美，一方面在美国被扣住不准走，后来你更入了美籍。我想知道你当时有没有身份的危机？

答：曾先生，你的问题很中肯。我个人的情形是这样，因为我学的是物理，里头有一部分是核物理，也是我所学的，而核物理跟原子武器有很密切的关系。由于我深深知道这一点，所以在50、60、70年代，一直到今天，我都不跟这个方向接近。美国制造原子弹的基地叫 Los Alamos，我在50、60、70年代都不去这个地方，因为我怕如果我去这个地方，即使我没有在里面工作，美国的密探就会对我注意，受到注意以后，将来如果我想要到中国去探亲，可能会发生困难，所以我把这地方推得远远的。

问：即是说你自己从没有试过自愿或被迫加入美国的国防部去发展军事装备，即等于攻打自己的同胞？

答：我跟他们完全不发生关系，我是 keep it at arm's length。

问：你自己本身是中国人，受公费留学美国，获得诺贝尔物理学奖，令许多华人都感到光荣，50年代很多年青人都视你为偶

像，包括我的长辈。但很奇怪，在节目开始时，我说你是中国人之光，取中国人的钱留学美国，为什么你要入美籍？为何要放弃中国人的身份？我看过你写的书，知道你以身为中国人为荣，为何你要辜负你的亲人、长辈、朋友、同胞的期望？

答：曾先生，这个问题问得很好，因为这问题确实是很多像我这样的中国人在美国很多年以后一个切身的问题。你可以这样讲，我的父母是中国人，我的子女是美国人，因为他们都是在美国出生的，所以我是介乎于美国与中国之间。中国跟美国发生很严重的冲突时，当然我的处境是比较困难，这个处境困难其实最主要是来自心理上的。因此我采取的态度是：(1)我跟我在中国的父母亲不断绝联系，(2)美国关于武器的工作，我跟它不发生关系。这样并没有发生大问题，美国政府对于我和中国政府对于我父母都没有发生大问题。

刚才你问我1971年回中国，美国政府对这事的态度怎么样。也许你会觉得很奇怪，在我通知了美国政府我要回中国探亲，美国政府的回答是由美国白宫里的科学顾问告诉我的，他们说很欢迎我回去，为什么呢？因为那时美国跟中国想要接近，他们觉得像我这样的人到中国，对于促进中国和美国的交流有好处，所以他们说欢迎，不过他们说不能帮我拿到签证，我说这不成问题，我可以自己去弄。在那以前我已写了一封信给我的父亲，说我想到中国去探亲，我父亲就写了一个报告给国务院，后来国务院通知我父亲说欢迎你的儿子来探亲，你叫他到加拿大或法国的中国大使馆去拿签证，所以我就去了。

问：其实我刚才问你为何在1964年入美籍，放弃你的中国籍？有否后悔这样做？

答：这个在当时是一件很复杂，而且很困难的事情。我始终知道我父亲对于我放弃中国国籍是不太满意的。我刚才跟曾先

生讲过，我在美国已经住了很多年，已经扎下根来了，我的子女是美国人，他们对于中国的了解很少，而我在美国的朋友也很多了，所以假如说我是一棵树的话，这棵树在美国的根已经很壮大了。另外当然还有一些实际的问题，比如说我当时拿的是国民党的护照，拿这个护照去各个地方做学术访问之类的事情很困难，像我这样的人在60年代，因为这缘故而去换成美国护照的有很多人。

问：你35岁获得轰动世界的诺贝尔物理学奖，获奖后有否觉得像背起大包袱，无法再突破自己？

答：说是大包袱就不见得，因为我自己觉得我的研究工作还可以做，所以我主要的工作仍是做研究。是不是有一点的包袱感呢？有一点点，不过不是刚才曾先生所讲的方向。我得到诺贝尔奖金以后，发现到全球所有华裔的人，不管是在大陆的、在台湾的、在香港的，甚至比如说有一年我到巴西去，巴西的华侨有几百人到飞机场去欢迎我，令我感觉到，因为我在科学上有了一些成就，在世界上有一点名气，使得全球华裔的人都高兴，这一点使我觉得我有一个责任，而这个责任有一点点的压力。

假如今天曾先生问我，你觉得你这一生最重要的贡献是什么？我会说，我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用，我想我在科学工作的成就帮助中国人的自信心增加了，这个恐怕是我一生最重要的贡献。

问：根据记录显示，华人得到诺贝尔奖的少之又少，而且全部都在科技领域，为何在和平、文学、医学、经济等等全部都没有华人得奖？

答：是这样的，曾先生，目前华裔的人得到物理学奖的已经有3个人，化学奖有1位，生物学奖到现在还未有华裔的，不过我觉得10年之内一定有，为什么呢？因为现在你看科学杂志，在生物研究方面的中国人多得很，而且有很重要成绩的人也很多，所

以我预言在10年之内会出现华裔的生物学诺贝尔奖得奖人。

文学奖是一件很麻烦的事情，它跟瑞典皇家文学院里几位先生的看法有关系，不过我预言在20年之内华裔一定会得到诺贝尔文学奖。

问：其实一直拿不到奖，会不会跟语言有关？例如他们看惯英文，不懂中文，不懂得欣赏我们的文学呢？

答：这个有关系，不过不是决定性的关系，你看日本人已经得到两个文学奖。

和平奖呢，这个奖比较复杂，因为和平奖更是主观的成份多。你要问我，我可以开玩笑地讲，假如华裔的人想得到和平奖，最好是当台湾跟大陆的关系很紧张，将要打起来的时候，有一个人出面把这件事情调停了，那么按照他们现在的办法，那个人便可能得到诺贝尔和平奖。

问：假如是这样，你根本不希望看见这个奖出现。

答：当然。

问：听说有人提名民运人士魏京生得诺贝尔和平奖，你的看法如何？

答：诺贝尔和平奖委员会的成员是一些理想主义者，对于实际的情况往往不清楚。如果魏京生得到诺贝尔和平奖，对于中国的经济成长和12亿人民的生活都不利，所以我希望魏京生不要得到和平奖。

问：目前你不停奔走于大陆、港、台，以及美国之间，你认识那么多领导人，就你的经验看，你估计中国人什么时候可以完成统一的大业？

答：这个问题很复杂，不是我能够给一个准确的回答。近年来大陆和台湾，尤其是有香港处于其中，交往多了很多。我自己在香港、大陆及台湾认识的人很多，做了很多帮助两岸交流的工

作。现在像我做这方面事情的人很多，做生意的人也在做这样的事情，做学术的人也在做这样的事情，长久以后，我想会增加台湾和大陆之间的了解，对于最后和平解决两岸分开的问题是有好处的。

问：这是否你人生之中剩下来的日子最大的愿望?

答：我最大的愿望是在我有生之年能够看见两岸的统一和平实现。

施温格

本文是作者于 1995 年 4 月 20 日在美国华盛顿 APS-AAPT 会议中纪念施温格集会上的演讲。译者张奠宙。

1946 年，当我在芝加哥大学做研究生时，朱连·施温格(Julian Schwinger)已是一位传奇人物了。我听到过许多有关他的故事，诸如战时在麻州剑桥的无线电实验室作艺术表演，以及在其他物理学家吃晚饭之前从不开始工作等等。

我也有机会读他的一些引人入胜的论文。至今我还能生动地记起在图书馆阅读他的论文时的情景。第一篇是他和泰勒合作的有关正氢和仲氢下的中子散射[Phys. Rev. Bold face, 286 (1937)]。我也记得仔细研读过他和 W. Rarita 合写的关于中子—质子相互作用的论文[Phys. Rev. Bold face, 436(1941)]。

此后发生了重整化的大事。让我和各位回顾一下发生过事件的历史轨迹。在 Shelter 岛会议上，Lamb 和 Retherford，还有 Foley 和 Kush 报告了令人兴奋的结果，那是 1947 年 6 月的事。值得关注的是，此后只在几个星期之内，Bethe 提交了一篇论文[Phys. Rev. Bold face, 339(1947)]，计算了 Lamb 的“位移”。他得到了 1040 MHZ。同样令人关注的是，几个月之后，施温格在 1948 年初发表了重要论文〔Phys. Rev. Bold face, 416(1948)〕。我记得这篇论文在 1947 年底完成，1948 年初刊出。对电子的超

磁矩量给出了著名的常数($\alpha/2\pi$)。他在纽约的 APS 会议上报告了这一结果(1948 年 1 月 29—31 日)。

接着是著名的 Pocono 会议(1948 年 3 月 30 日至 4 月 1 日)。我那时只是一名研究生,没能参加这一会议。芝加哥大学的泰勒、费米、文策尔去了。费米通常在会议上没有作笔记的习惯,但这次却带回了长篇的笔记,因为在他听施温格报告时已意识到这将是一个历史性的事件。当他回到芝加哥时,怎么消化这些笔记呢? 费米把泰勒、文策尔和四个研究生(Geoffery Chew, Murph Goldberger, 以及 Marshall Rosenbluth 和我)找到他的办公室,我们打算用几星期时间把费米所记录的施温格演讲内容弄清楚。这样,我们从 1948 年的 4 月一直工作到 5 月。Murph 做记录,至今我还保留着一份复本。在费米的办公室里,一周碰头几次,每次约两小时。六个星期之后,大家都觉得很累,而且我们六人中没有一个感到真正弄明白了施温格的工作。我们只知道施温格完成了一些辉煌的工作,例如他已得到($\alpha/2\pi$),以及已经使 Lamb 位移进入具体计算的阶段。

在六星期工作的末尾,四个研究生中有人问:“是不是费曼也说过话?”三位教授都说:“是的,是的,费曼确实说过。”“那么费曼说了些什么?”没有人说得清楚。大家只记得费曼的奇怪记号:带有斜杠的 P。

现在让我们来再次回顾重整化理论的历史。上面我已提到,第一篇论文是施温格完成的。第二篇则是日本人 H. Fukuda, Y. Miyamoto, 和 S. Tomonaga 的论文[Prog. Theo. Phys. Bold Face, 47, 121(1949)]。然后,施温格在 1949 年又回到这一问题,得到了 1051 MHZ[Phys. Rev. Bold Face, 898(1949)],从理论观点来看,这是 Lamb 位移的正确值。接着是费曼[Phys. Rev. Bold Face, 749,769(1949)]。所以,这三篇由 Tomonaga、施

温格、费曼分别完成的论文,给出了有关 Lamb 位移正确的相对论的公式和计算。在那前后的另外重大事件是 Freeman Dyson 发表的两篇系列论文[Phys. Rev. Bold Face, 486. 1736 (1949)],它向人们,像我这样的刚做博士后的年轻人,解释了正在发生的事情,并帮助克服学习那些复杂论文时的困难。在对重整化理论作出过贡献的人们中,从理论研究方面说,还应当包括 Bethe, Kramers, Lamb, Oppenheimer, Weisskopf,以及其他人。

从历史的观点来看,我认为,重整化在理论上和实验上的进展,是第二次世界大战以后第一个最激动人心的事件。它也标志着欧洲在基础物理学上一统天下的时代的结束,显示一个新时代,美国时代的开始。

打个比方,重整化是本世纪基础物理学发展中的一座高峰。攀登这一高峰是一桩困难的工作。它要求熟练的技术,巨大的勇气,精致的判断,和顽强的毅力。许多人为此做出了贡献。现在非常多的人能够爬上这座山峰。但是,第一个征服这座山峰的人,则是施温格。

战后在美国建立了许多夏季研讨班。1948 年在著名的密西根夏季研讨班上,我第一次见到施温格。但是我其实并没有认识他。他非常腼腆,要找到一个和他不认识但能和他讨论物理的人是很难的。我真正认识他是在 1958 年,我们都应 Bob Sachs 的邀请访问位于麦迪逊的威斯康星大学。在那个夏天,施温格和他的太太 Clarice,我的妻子致礼和我,大家常在一起。我渐渐懂得施温格不仅是一位伟大的物理学家,而且是一位高尚的人。

施温格能够极好地运用英语,即使在非正式场合的谈话,他也说完美的、精致的、流畅的语句。在费米实验室举行的关于粒子物理的 1980 年会议论文集里可以找到一个很好的例子。施温格在会议上做了《重整化和量子电动力学——个人见解》的演讲。

这是一篇十分引人入胜的文章。他一步一步地给出了重整化理论发展的详细过程。它同时也清楚地证明了施温格运用英语的高超能力。我极力向各位推荐这篇文章。

文章中最打动人的句子是:“恰如晚近以来的硅晶片那样,费曼图把场论计算推广给大众(like the silicon chip of more recent years, the feynman diagram was bringing computation to the masses)。”

我觉得施温格有理由感到不愉快:由于费曼像一位令人眼花缭乱的表演家,年轻一代已经忘记,第一个征服重整化高峰的人正是施温格。

费曼和施温格是我们时代的两位伟大的物理学家。他们各自都做出了许多深刻的贡献。他们都出生于1918年。但就个人的智慧而言,他们之间的差异比任何两个个人之间的差异都要大。我常常在想,人们可以写一本书,题为“一项比较研究:施温格和费曼”:

> 百分之二十生动的玩笑家,百分之二十专门的违规者,百分之六十伟大的物理学家,费曼为了成为伟大表演家和成为伟大的物理学家做出了同样的努力。

> 腼腆、博学、讲精致而流畅的英语,施温格是文化完美主义者的象征,一位十分内向的高人。

我于1966年从普林斯顿高等研究院移往纽约州立大学石溪分校。和石溪的行政领导一起,我作了许多努力,想把施温格吸引到石溪的物理研究所。我在给施温格的一封信中着重谈了这一点(日期是1968年的4月18日):

> 还想说的是我们希望很快会听到你的回复(我希望是肯定

的答复)。

请允许我补充说一点我一直在想的意见:即使像哈佛大学这样最负盛名的地方,也不能给您增加荣耀。正是您,却会给您选择加入的任何研究机构带来荣耀。

我们很不走运,施温格去了加州大学洛杉矶分校(UCLA)。许多年以后,我收到UCLA物理系系主任的一封来信,要我支持聘请施温格为大学教授(University Professor)。以下是我的回复(日期为1978年6月13日):

朱连·施温格教授是当今时代最伟大的物理学家之一。他的工作覆盖了广阔的领域,从核物理到基本粒子物理,到场论;从同步加速器到群论,到微波辐射。在过去30年间,他对这些领域所贡献的重要而本质的思想,已经影响了整个的领域。

施温格最重要的工作是他对重整化的贡献。它属于20世纪中叶物理学最伟大的一些进展之列。

施温格是一位成绩卓越的教师。他所培养的有广泛影响的理论物理研究生,在还活着的物理学家中也许是最多的。他的演讲总是精致修饰的、漂亮的,而且具有施温格对物理学处理的个人特征的特殊风格。

施温格是一位静思的人物,在物理科学之外的许多智力领域中具有敏锐的直觉和深刻的洞察力。

我毫无保留地支持聘请施温格作为加州大学"大学教授"的提案。我唯一感到惊讶的是他当初加入UCLA时没有被聘任这一职位。

华人科学家在世界上的学术地位

——和华东师范大学张奠宙教授的谈话(1995)

本文由张奠宙教授撰写,原载1996年《科学》双月刊,48卷3期。

1995年7月,我再度到纽约州立大学访问。在杨振宁教授的办公室里,我们谈起华人科学家在世界上的地位。我注意到办公室的书架上放着美国国家科学院和英国皇家学会刚出版的1995年年鉴,里面有院士和会员的人名录,其中包括许多华人科学家的名字。我将它取下来。杨先生一边翻阅华人的名字、一边介绍他们的工作。现将谈话的内容整理如下。

张:您曾说过,您一生的最大贡献是帮助"恢复了中国人在科学上的自信"。您和李政道于1957年获得诺贝尔奖是"中国人恢复科学自信"的主要标志吗?

杨:诺贝尔奖是可遇而不可求的事。"恢复中国人的科学自信",是中国几代科学家的努力,不是我一个人能办到的,我只是尽了我的一份力量。本世纪以来,中国现代科学从无到有,在大约三四十年的时间里跨了三大步。1919年五四运动时,中国还没有自己的自然科学研究事业。一部分留学生从国外回来,在全国各地办起一批大学。20年代的中国大学生已可达到世界上一般的学士水平。30年代的清华、北大、浙大等名校,已聚集一批

国外回来的博士，他们的教学研究开始接近国际标准，培养的学生已能达到硕士水平。到了 40 年代，像西南联大这样的学校，其课程设置和科研水准，已经和国外的一般大学相当接近，培养的硕士生实际上已和博士水平相齐。正是在这样的基础上，李政道和我才有可能在 50 年代获得诺贝尔物理学奖。这时离五四运动只 38 年，其速度是相当快的。从中国学生在欧美各国获数学博士学位者的年份统计来看，大体上反映了上述的三大步。

张：是不是中国的物理学发展得特别好，首先取得成功？

杨：好像不是这样。我的印象是，中国学者最先进入世界学术的主流圈，得到同行公认的学科是工程，早期留美学生多数读工科。有的理科，如化学，实际上也以实验为主，近于工科。我在 1946 年到美国时，工科的中国学者已经很有名气，受到美国人的重视，如钱学森。另外，许多中国学者已在麻州理工学院获得终身教职，如朱兰成、李郁荣等，后来有林家翘。那时在数学和物理方面获得终身教职的中国学者还很少，所以曾是非常令人羡慕的。在美国国家科学院 1672 名院士中华人有 30 人，占 0.18%，而在美国工程科学院 1348 名院士中有华人 43 人，占 0.32%，比例较科学院为高。然后是数学，先后来美国的陈省身、华罗庚、许宝騄等，声望很高。就华人获诺贝尔奖而言，50 年代由物理学开始，然后是化学，而生物学方面现在还没有。但今后这 10 年，我想生物方面会有中国人得诺贝尔奖，因为目前在国内和世界各地生物学界的中国人非常之多。当然，得诺贝尔奖要看机遇。我相信，很多华人学者已被提名过，有的不止一次。他们的科学成就实际上已达到了获诺贝尔奖的水平。

张：中国的生物学家在美国发展得如何？

杨：中国生物学家虽然还没有获得诺贝尔奖，但有几位前辈的贡献很突出，有一位林可胜先生（Lim, Robert Kho-Seng,

1897—1969)，他是被选入美国科学院的第一个华裔科学家。另一位是章明觉(Chang, M. C. 1908—1991)，他也是美国科学院院士，主要贡献是弄清精子和卵子刚结合的几天内的情形，对发展避孕药有很大作用。

张：你说，数学发展得很好，可是数学没有诺贝尔奖，影响可能要小些。

杨：数学虽没有诺贝尔奖，但两个数学界的最高奖中国人都有份。四年一度授于 40 岁以下年轻数学家的是菲尔兹奖(Fields Medal)。1949 年出生，在香港中文大学毕业，以后受教于陈省身的丘成桐于 1982 年获得菲尔兹奖。另一个数学最高奖是沃尔夫数学奖，以一个数学家的终生成就来评定，获奖者都是有杰出贡献的大数学家，多半年事已高。陈省身于 1983 年荣获沃尔夫数学奖。近年来，中国年轻数学家成长很快，如有人再获最高奖，也不会令人奇怪。

张：中国人在数学和理论物理方面的成绩很突出，年轻人出国留学也多在数学、理论物理，是否中国人的动手能力比较差?

杨：这话看来不对。中国早期的物理学家，多是实验物理学家(因为"科学救国"需要更多的实际贡献)。中国第一个物理学博士是 1908 年由李复几在波恩大学获得的，他是做光学实验的。而第一个以理论物理工作获博士学位的是王守竞先生，他是 1927 年在美国哥伦比亚大学获得的。我是理论物理方面获博士学位的第 16 名中国人。总体上说，中国实验物理学家成就很高。如吴有训在芝加哥大学对康普顿效应的验证，就是由于动手好，比否定康普顿的那位做得精细，所以赢得很高声誉。康普顿晚年曾说过，"在 Alvarez(诺贝尔奖获得者)和吴之间哪一个好，我还说不准"，这评价就很高。这样的例子举不胜举，如赵忠尧、吴健雄、丁肇中等都是以实验物理著称的名家。前些年，中国学者一

度搞理论的居多，主要是教育方面的问题。大学里动手机会太少，出国后驾轻就熟，就都在理论上下功夫。其实，并非中国人没有动手的能力，只要条件具备，中国人是善于做实验的。

张：前些年，中国学生到美国学物理的很多，他们的情况如何？

杨：有人告诉我，中国以 CUSPEA 考出来的物理留学生估计有 1000 人，其中约 50 人已回国，另有不到 50 人在美国大学获得终身职位。其余的人都改行了，他们之中可能会有一些人在其他领域获得成功。目前在理论物理方面，十分杰出的中国青年学者反倒很少了，至少我的见闻是这样。

张：我看到《美国国家科学院年鉴》和《英国皇家学会年鉴》收有院士和会员名录，其中有不少华人科学家的名字，这个名单也许可以部分地反应华人科学家在世界科学界的地位。

杨：1949 年以后，中国大陆的科学家有许多杰出的成就，包括原子武器和导弹的成功研制等，外界很少知道。国际学术交流中断了许多年，所以美国和英国的科学界评选外籍院士，很少会考虑到这一部分的中国学者。除此之外，也很难说不会有一些偏见。不过，我想这份名单还是能反映一些实际情况的。

表 1　最初三批庚款赴美国留学生研修科目分布

（单位：人）

赴美年份	文科	理科	工科	农科	医科
1909	6	5	16	1	5
1910	9	7	48	3	3
1911	9	4	12	/	1
总计	24	16	76	4	9

注：上表资料来源，陈学恂，现代中国教育史料，人民教育出版社，1986

表2 1907—1962年在美国获博士学位者学科分布

(单位:人)

文科(合计:896):							
艺术	9	商业	258	历史	50	国际法	95
法律	40	新闻	1	图书馆	6	语言	10
文学	25	音乐	4	哲学	43	政治	72
心理	46	宗教	31	社会学	53	教育	153
理科(合计:1128):							
数学	91	物理	117	天文	5	气象	12
化学	405	生理	79	微生物	33	生化	55
遗传	38	植物	168	动物	85	地理	15
地质	25						
工科(合计:593):							
航空	50	化工	91	土木	117	电机	132
食品	7	矿业	57	水利	20	力学工程	119
农科(合计:53)							
医科(合计:70):							
药学	33	卫生	20	医学手术	17		

注:上表资料来源,Yuan, Tong Li. A Guide to Doctoral Dissertations by Chinese Students in America, 1905～1960. Washington, 1961

表3 1917—1959年中国学生在欧美获数学博士的年份分布

年 份	人 数
1910—1919	2
1920—1929	10
1930—1939	33
1940—1949	30
1950—1959	44
总 计	119

表4 美国工程科学院中的华人学者

英文名	中文名	出生年	出生地	专业	供职单位	选入年份
Ang, Alfredo H-S.	洪华生	1933	菲律宾	土木工程	加州大学(欧文)	1976
Chang, Leroy L.	张立纲	1936	河南	电子材料	香港科技大学	1988
Chao, Bei Tse	赵佩之	1918	江苏	热传导学	伊利诺伊大学	1981
Chen, Nai Y.	陈乃润	1926		技术管理	汽车研究和发展公司(普林斯顿)	1990
Cheng Herbert S.		1929	上海	计算机设计	西北大学	1987
Cheng Hsien K.	郑显基	1933	北京	流体力学	美国,加州大学	1988
Cho, Alfred Y.	卓以和	1937	北京	电机工程	AT&T贝尔实验室	1985
Chu, Richard C.		1933	北京	电子工程	IBM公司	1987
Fang, Frank Fu	方　复	1930	安徽	地球物理	华盛顿卡内基研究所	1989
Fung, Yuan-Cheng	冯元桢	1919	武进	应用力学	加州大学(拉霍亚)	1979
Ho, Yu-Chi		1934	中国	应用数学,系统工程	哈佛大学	1987
Hsu, Chieh-Su	徐皆苏	1922	苏州	工程力学	加州大学(伯克利)	1988
Kao, Charles K.	高　锟	1933	上海	电讯工程	香港中文大学	1990
Kuh, Ernest S.	葛守仁	1928	嘉兴	电机工程	加州大学(伯克利)	1975
Kung, H. T.	孔祥重	1945	上海	计算机科学	哈佛大学	1993
Lee Shin-Ying	李诗颖	1930	北京	机械工程	麻省理工学院	1985

（续表）

英文名	中文名	出生年	出生地	专业	供职单位	选入年份
Li, Norman N.		1933	上海	材料科学	麻省理工学院	1990
Li, Tingye	厉鼎毅	1931	江苏	电子电讯	AT&T贝尔实验室	1980
Li, Yao Tzu	李耀滋	1914	北京	电机工程	麻省理工学院	1987
Lin, Tong Yan	林同炎	1911	福州	土木工程	旧金山林氏建筑公司	1967
Lin Tung H.	林同骅	1911	重庆	力学工程	加州大学(洛杉矶)	1990
Liu, Benjamin Y. H.	刘扬晖	1934	上海	力学工程	明尼苏达大学	1987
Lo, Yuan Tze	罗远祉	1920	常州	电子工程	伊利诺大学(厄巴纳-尚佩恩)	1986
Mei, Chiang C.	梅强中	1935	武汉	土木及海洋工程	麻省理工学院	1986
Ning, Tak H.		1943	广东	硅技术	IBM公司	1993
Pian, Theodore H. H.	卞学璜	1919	上海	结构与航空力学	麻省理工学院	1988
Sah, Chih-Tang	萨支唐	1932	北京	工程物理	佛罗里达大学	1986
Shen, Hsieh W.		1931	北京	土木工程	加州大学(伯克利)	1993
Shen, Shan-Fu	沈申甫	1921	吴兴	流体力学	康奈尔大学	1985
Sze, Morgan C.		1917	天津	化学工程	Signal股份有限公司	1976
Tai, Chen-To	戴振铎	1915	苏州	电子工程	密西根大学	1987
Tang, Chung L.	汤仲良	1934	上海	电机工程	康奈尔大学	1986

(续表)

英文名	中文名	出生年	出生地	专业	供职单位	选入年份
Tian, Chang-Lin	田长霖	1935	湖北	机械工程	加州大学(伯克利)	1976
Tian, Ping King	田炳耕	1919	浙江	电子学	AT&T 贝尔实验室	1975
Wang. Daniel I.C.	王义翘	1936	南京	生物工程	麻省理工学院	1986
Wang, Kuo K.		1923	武进	力学工程	康奈尔大学	1989
Wei, James	韦潜光	1930	澳门	化学工程	普林斯顿大学	1978
Wong, Eugene	王佑曾	1934	南京	电机,资讯	香港科技大学	1987
Wu, Theodore Y	吴耀祖	1924	常州	流体力学	加州理工学院	1982
Yang, Henry T. Y.	杨祖佑	1940	南京	航空工程	加州大学(圣巴巴拉)	1991
Yee, Alfred A.		1976	中国	结构工程	应用技术公司(檀香山)	1976
Yih, Chia-Shun	易家训	1918	贵州	流体力学	密西根大学	1980
Yu, A. Tobey	俞蔼亭(?)	1921	浙江	化学工程	ORBA 公司(佛罗里达)	1989
Cheng, Che-Min	郑哲敏	1923	济南	爆炸力学,应用力学		1993
Wang, Dianzuo	王淀佐	1934	辽宁	选矿学	中南工业大学	1990

注:上表最后两位为外籍院士。

表 5　美国国家科学院院士中的华人学者

学科	中文名	英文名	出生年	供职单位	入选年份
数学	陈省身	Chern, Shiing-Shen	1911	加州大学(伯克利)	1961
	丘成桐	Yau, Shing Tung	1949	哈佛大学	1993
应用数学	林家翘	Lin, Chia-Chiao	1916	麻省理工学院	1962
物理学	吴健雄	Wu, Chien-Shiung	1912	哥伦比亚大学	1958
	李政道	Lee, T. D.	1926	哥伦比亚大学	1964
	杨振宁	Yang, C. N.	1922	纽约州立大学(石溪)	1965
	丁肇中	Ting, Samuel C. C.	1936	麻省理工学院	1977
	朱棣文	Chu, Steven	1948	斯坦福大学	1993
	周光召	Zhou, Guang-Zhao*	1929	北京,中国科学院	1987
应用物理学	朱经武	Chu, Ching-Wu	1941	休斯顿大学	1989
	张立纲	Chang, Leroy L.	1936	香港科技大学	1994
	李雅达	Lee, Patrick A.	1946	麻省理工学院	1991
	沈元壤	Shen, Y. R.	1935	加州大学(伯克利)	1995
	崔　琦	Tsui, Danil Chee	1939	普林斯顿大学	
天文学	徐遐生	Shu, Frank H. S.	1943	加州大学(伯克利)	1987
化学	李远哲	Lee, Yuan T*	1936	台北,"中研院"	1979

（续表）

学科	中文名	英文名	出生年	供职单位	入选年份
生物化学	王　倬	Wang, James C.	1936	哈佛大学	1986
地质学	毛河光	Mao, Ho-Kwang	1935	华盛顿，卡内基研究所	1993
	任以安	Zen, E-an		马里兰大学	1976
	许靖华	Hsu, Kenneth J.*	1929	瑞士联邦工业大学	1986
植物生理学	杨祥发	Yang, Shang F.	1932	香港科技大学	1990
遗传学	谈家桢	Tan, Jia-Zhen*	1909	上海，复旦大学	1985
土壤学	张德慈	Chang, Te-Tze*		台北国际技术合作委员会	1994
古人类学	张光直	Chang, Kwang-Chih	1931	哈佛大学	1979
	贾兰坡	Jia, Lan Po	1908	北京，中国科学院	1994
		Jen, Douglas Ernest*		澳大利亚国立大学	1985
医学	简悦威	Kan, Yuet Wai	1936	加州大学(旧金山)	1978
工程学	田炳耕	Tian, Ping King	1919	AT&T 贝尔实验室	1978
	卓以和	Cho, Alfred Y.	1937	AT&T 贝尔实验室	1985
	冯元桢	Fung, Yuan-Cheng B.	1919	加州大学(拉霍亚)	1992

注：① 表中列出的是 1995 年 7 月统计时的健在者，共院士 23 人，外籍院士 7 人。英文名后加 * 者，为外籍院士。

② 1995年7月前已去世的华人院士和外籍院士各有3人，他们是：
林可胜(Lim, Robert Kho-Seng, 1897～1969)，1965年入选院士；
章明觉(Chan, M. C., 1908～1991)，1990年入选院士；
李卓浩(Li, Choh Hao, 1913～1987)，1973年入选院士；
冯德培(Feng, De-Pei, 1907～1995)，1986年入选外籍院士；
华罗庚(Hua, Lo-Geng, 1910～1985)，1982年入选外籍院士；
夏　鼐(Xia, Nei, 1910～1985)，1984年入选外籍院士。

③ 以上36人名单据1995年7月National Academy of Sciences Membership Directory，按姓名的拼读估猜和其他资料确定，可能有遗漏。

④ 美国国家科学院院士和外籍院士之间可随本人国籍的改变而转换。李远哲于1979年当选院士时是美国国籍，后来回到中国台湾工作，放弃美国国籍，所以现在是外籍院士。

⑤ 李政道和杨振宁于1957年同获诺贝尔奖，但两人分别于1963年和1964年加入美国籍，因而选入美国国家科学院的时间也差一年。

⑥ 按1995年年鉴，林可胜选入美国科学院时间为1965年，但他应早已是外籍院士，1965年入美国籍，自动转为美国院士。被选为外籍院士年份待查。

⑦ 36名院士和外籍院士被选入时的平均年龄为48岁。目前在世美籍华人院士中年龄最小的是丘成桐，年龄最大的是陈省身，都是数学家。

表6　英国皇家学会成员中的华人学者

类别	学者
外籍会员：	陈省身(S. S. Chern)，美国加州大学(伯克利)，1985年当选 杨振宁(C. N. Yang)，美国纽约州立大学(石溪)，1992年当选
会　员：	简悦威(Y. W. Kan)，美国加州大学(旧金山) 蔡南海(Chua N. H.)，美国拉特格斯(Rutgers)大学

注：① 以上名单录自 Year Book of The Royal Society 1995。

② 简悦威、蔡南海都不是英国籍，也不在英国工作，但他们分别来自原属英联邦的香港和新加坡，按规定不列入外籍会员。

③ 英国皇家学会只选入自然科学家。社会科学家另有地位相当的不列颠科学院(Academy of Britian)，华人学者曾有陈寅恪、夏鼐、赵元任、王浩4人当选，现均已去世。

④ 皇家学会中有关已去世华人学者的情况不明，未作统计。

关于治学之道

——在上海交通大学对大学生的演讲(1995)

本文原载1995年7月22日上海《文汇报》，题目是《杨振宁与上海大学生谈治学之道》，现标题为编者所加。

7月18日上午，著名物理学家杨振宁教授，冒着酷暑向500名交大学生做讲演，叙谈自己毕生治学的经验。

本刊特刊登这一讲演的主要内容，以飨广大读者。

今天，我很高兴和大家谈谈，我个人学习上的一些历史及经验。我是在安徽合肥出生的。1929年，我7岁时，全家搬到清华园，前后八年。小学是在清华教职员子弟学校念的书，成绩还可以，但没有特别的好。1933年，我小学毕业，进了北平崇德中学。当时，有一件事情对我是很重要的。我父亲是教数学的，他发现我在数学方面有一些天才。1934年夏天，父亲决定请一个人来给我补习，但他不是来补习我的数学，而是给我讲习《孟子》；第二年，又念了半个夏天，我可以把《孟子》从头到尾地背诵出来了。现在想起，这是我父亲做的一个非常重要的事情。一个父亲发现自己的孩子在某一方向有才能时，最容易发生的事情，是极力把孩子朝这个方向推。但当时我的父亲没有这样做。他却要我补《孟子》，使我学到了许多历史知识，是教科书上没有的。这对我有很大意义。

崇德中学对我比较有影响的，是图书馆里的书籍。譬如，当时有一本杂志，叫《中学生》，每个月厚厚一本，我每期都看。从文学、历史、社会到自然科学，都有些文章。我记得特别清楚的，是有一篇文章，讲排列与组合。我第一次接触到排列与组合这个概念，就是在这本杂志上。另外，那时是 30 年代，1925—1927 年，是 20 世纪物理学发生革命性变革时期，产生了量子力学，这是人类历史上最高的智慧革命之一。今天我们看到的半导体、计算机、激光，如没有量子力学，就不可能产生。当时，有一些物理学家写了一些科普书，国内有人翻译成中文，我从图书馆里借来，这些书给了我很大的营养，尽管有些内容，我不能完全理解，但对我很有帮助。我对其中所描述的科学上新的发展、许多奇妙的几乎不可置信的知识，产生了向往的感觉，这对于我以后学物理，不是没有帮助的。

抗战爆发后，我们全家到了昆明，我考入了西南联大。这是一个非常好的学府，尽管条件很差，铁皮和茅草房子，但师生士气很高。我在那里六年，是我一生做研究工作奠定基础的年代。那时，学习空气非常浓厚，物理系举办了一系列讲座，其中有一个关于麦克斯韦方程的讲座。麦克斯韦写了一个著名的方程式，这是 19 世纪物理学的最高峰。这个方程式，到了 20 世纪，大家大大地了解了。今天的无线电、电话……，凡与电、磁有关的，都基于麦克斯韦方程式。当时我才大学一年级，还不可能完全了解这个重要性，但听了这些演讲，吸收到当时的那种空气，还是很有好处的。另一个讲座，对我更有直接影响的，是王竹溪教授讲的“相变”。过了十几年，50 年代我做博士后时，我因为当时听过“相变”的演讲，一直有兴趣，就环绕着相变，做了一些自己的工作，成绩还是相当好的。我讲这一些的意思，是要大家知道：做学问，许多事情要慢慢的来。你当时对有些事情听了没有完全懂，不要

紧。慢慢地，它对你的整个价值观，会发生影响。

我接触过许多学生，他们都很聪明，但后来的兴趣、发展方向、成就，很不一样，这里很重要的是价值观。我父亲在我小学四年级时，就教过我等差级数，我一直记着。后来，我对自己的三个孩子，也都教过等差级数，但过了一年，他们就都忘了。这里，很重要的一点是，孩子若对某一方面特别注意，能激起兴趣，觉得学起来特别妙，能在脑子里生根，他或许就能在这个方向上发展。对一个年轻人将来有决定性影响的，还有一个就是选择研究方向。我在美国，看到过几千个博士生，念书时都很好，但过了20年，他们的成就相差悬殊，有的很成功，有的默默无闻。这不在于他们的天分、学历。在于有的路越走越窄，有的越走越宽。如果他选择的方向，五至十年后大有发展，他就能有所成就，如他所选择的方向，是强弩之末，就不能发展了。那么，怎么才能看清方向呢？具体的很难说，关键是要把握住整个趋势，不要只是一头钻进去，眼光太短浅。

中国现在的教学方法，同我在西南联大时仍是一样的，要求学生样样学，而且教得很多、很细，是一种“填鸭式”的学习方法。这种方法教出来的学生，到美国去，考试时一比较，马上能让美国学生输得一塌糊涂。但是，这种教学方法的最大弊病在于，它把一个年轻人维持在小孩子的状态，老师要他怎么学，他就怎么学。他不能对整个物理学，有更高超的看法。我到北大、清华去，他们告诉我，物理课本有四大厚本，学生喘不过气来。一个喘不过气的学生，今后不可能做得很好。他必须是一个活生生的学生，将来才行。

整个东亚教育的哲学，太使一个人受拘束。如果要使每一个人学得有自己想法。怎么办呢？譬如物理学，美国有一本杂志，头五页是报道各方面的最新动态，我就建议留学生每期都去看

看。即使不懂，也要看看。这种学习方法，我叫它为“渗透法”。中国传统的学习方法是一种“透彻法”。懂得透彻很重要，但若对不能透彻了解的东西，就抗拒，这不好。“渗透法”学习的好处，一是可以吸收更多知识；二是对整个的动态，有所掌握。不是在小缝里，一点一点地学习。一个做学问的人，除了学习知识外，还要有“taste”，这个词不太好翻，有的翻译成品味、喜爱。一个人要有大的成就，就要有相当清楚的 taste。就像做文学一样，每个诗人，都有自己的风格，各个科学家，也有自己的风格。我在西南联大七年，对我一生最重要的影响，是我对整个物理学的判断，已有我的“taste”。

后来到美国，我在芝加哥大学当研究生，那里有世界上最好的物理系。我在中国学习的研究方法，是“演绎法”，从牛顿三大定律，热力学第一、第二定律出发，然后推演出一些结果。我发现，这完全不是费米、泰勒等的研究方法，他们是从实际试验的结果中，归纳出原理，是“归纳法”。我很幸运，这两种研究方法的好处，都吸收了。这对我的研究工作，有很大影响。

21 世纪的中国，科学技术继续要有很大的发展。这里，除了研究工作外，很重要的是把科学技术介绍给年轻人，以及大众。这需要教育，也需要科学技术普及。科普，是相当复杂的事情。因为一个做传播媒介的人，不可能完全专业于一门科学，但他又必须了解各门科学。我不知道，中国的大学，有没有特别设立专门训练报道科技知识的新闻记者的专业。如果没有的话，应该尽快办起来。

（根据记录整理，未经本人审阅）

美与物理学(1997)

本文是作者于1997年1月17日在香港中华科学与社会协进会与中文大学主办的演讲会上的讲词。讲题原为“科学工作有没有风格?”。现标题为作者所加。

19世纪物理学的三项最高成就是热力学、电磁学与统计力学。其中统计力学奠基于麦克斯韦(J. Maxwell, 1831—1879)、波尔兹曼(L. Boltzmann, 1844—1905)与吉卜斯(W. Gibbs, 1839—1903)的工作。波尔兹曼曾经说过[①]:

> 一位音乐家在听到几个音节后,即能辨认出莫扎特(Mozart)、贝多芬(Beethoven)或舒伯特(Schubert)的音乐。同样,一位数学家或物理学家也能在读了数页文字后辨认出柯西(Cauchy)、高斯(Gauss)、雅科比(Jacobi)、亥姆霍兹(Helmholtz)或克尔基霍夫(Kirchhoff)的工作。

对于他的这一段话也许有人会发生疑问:科学是研究事实的,事实就是事实,哪里会有什么风格?关于这一点我曾经有过如下的讨论[②]:

> 让我们拿物理学来讲吧。物理学的原理有它的结构。这个结构有它的美和妙的地方。而各个物理学工作者,对于这个结构的不同的美和妙的地方,有不同的感受。因为大家有不同的

感受，所以每位工作者就会发展他自己独特的研究方向和研究方法。也就是说他会形成他自己的风格。

今天我的演讲就是要尝试阐述上面这一段话。我们先从两位著名物理学家的风格讲起。

(一)狄拉克

狄拉克(P. Dirac, 1902—1984)是20世纪一位大物理学家。关于他的故事很多。譬如：有一次狄拉克在普林斯顿大学演讲。演讲完毕，一位听众站起来说："我有一个问题请回答：我不懂怎么可以从公式(2)推导出来公式(5)。"狄拉克不答。主持者说："狄拉克教授，请回答他的问题。"狄拉克说："他并没有问问题，只说了一句话。"

这个故事所以流传极广是因为它确实描述了狄拉克的一个特点：话不多，而其内含有简单、直接、原始的逻辑性。一旦抓住了他独特的，别人想不到的逻辑，他的文章读起来便很通顺，就像"秋水文章不染尘"，没有任何渣滓，直达深处，直达宇宙的奥秘。

狄拉克最了不得的工作是1928年发表的两篇短文，写下了狄拉克方程[③]：

$$(pc\alpha + mc^2\beta)\psi = E\psi。 \qquad \text{(D)}$$

这个简单的方程式是惊天动地的成就，是划时代的里程碑：它对原子结构及分子结构都给予了新的层面和新的极准确的了解。没有这个方程，就没有今天的原子、分子物理学与化学。没有狄拉克引进的观念就不会有今天医院里通用的核磁共振成像(MRI)技术，不过此项技术实在只是狄拉克方程的一项极小的应用。

狄拉克方程"无中生有、石破天惊"地指出为什么电子有"自旋"(spin)，而且为什么"自旋角动量"是1/2而不是整数。初次

了解此中奥妙的人都无法不惊叹其为“神来之笔”，是别人无法想到的妙算。当时最负盛名的海森堡(W. Heisenberg, 1901—1976)看了狄拉克的文章，无法了解狄拉克怎么会想出此神来之笔，于1928年5月3日给泡利(W. Pauli, 1900—1958)写了一封信[④]描述了他的烦恼：

为了不持续地被狄拉克所烦扰，我换了一个题目做，得到了一些成果。

(按：这成果是另一项重要贡献：磁铁为什么是磁铁。)

狄拉克方程之妙处虽然当时立刻被同行所认识，可是它有一项前所未有的特性，叫做“负能”现象，这是大家所绝对不能接受的。狄拉克的文章发表以后三年间关于负能现象有了许多复杂的讨论，最后于1931年狄拉克又大胆提出“反粒子”理论(Theory of Antiparticles)来解释负能现象。这个理论当时更不为同行所接受，因而流传了许多半羡慕半嘲弄的故事。直到1932年秋安德森(C. D. Anderson, 1905—1991)发现了电子的反粒子以后，大家才渐渐认识到反粒子理论又是物理学的另一个里程碑。

20世纪的物理学家中，风格最独特的就数狄拉克了。我曾想把他的文章的风格写下来给我的文、史、艺术方面的朋友们看，始终不知如何下笔。去年偶然在香港《大公报》大公园一栏上看到一篇文章，其中引了高适(700—765)在《答侯少府》中的诗句：

性灵出万象
风骨超常伦

我非常高兴，觉得用这两句诗来描述狄拉克方程和反粒子理论是再好没有了：一方面狄拉克方程确实包罗万象，而用“出”字描述狄拉克的灵感尤为传神。另一方面，他于1928年以后四年间不

顾玻尔(N. Bohr, 1885—1962)、海森堡、泡利等当时的大物理学家的冷嘲热讽，始终坚持他的理论，而最后得到全胜，正合"风骨超常伦"。

可是什么是"性灵"呢？这两个字联起来字典上的解释不中肯。若直觉地把"性情"、"本性"、"心灵"、"灵魂"、"灵感"、"灵犀"、"圣灵"(Ghost)等加起来似乎是指直接的、原始的、未加琢磨的思路，而这恰巧是狄拉克方程之精神。刚好此时我和中文大学童元方博士谈到《二十一世纪》1996年6月号钱锁桥的一篇文章，才知道袁宏道(1568—1610)[和后来的周作人(1885—1967)，林语堂(1895—1976)等]的性灵论。袁宏道说他的弟弟袁中道(1570—1623)的诗是"独抒性灵，不拘格套"，这也正是狄拉克作风的特征。"非从自己的胸臆流出，不肯下笔"，又正好描述了狄拉克的独创性！

(二)海森堡

比狄拉克年长一岁的海森堡是20世纪另一位大物理学家，有人认为他比狄拉克还要略高一筹⑤。他于1925年夏天写了一篇文章，引导出了量子力学的发展。38年以后科学史家库恩(T. Kuhn, 1922—1996)访问他，谈到构思那个工作时的情景。海森堡说⑥：

> 爬山的时候，你想爬某个山峰，但往往到处是雾……你有地图，或别的索引之类的东西，知道你的目的地，但是仍堕入雾中。然后……忽然你模糊地，只在数秒钟的功夫，自雾中看到一些形象，你说："哦，这就是我要找的大石。"整个情形自此而发生了突变，因为虽然你仍不知道你能不能爬到那块大石，但是那一瞬间你说："我现在知道我在什么地方了。我必须爬近那块大石，然后就知道该如何前进了。"

这段谈话生动地描述了海森堡1925年夏摸索前进的情形。要了解当时的气氛,必须知道自从1913年玻尔提出了他的原子模型以后,物理学即进入了一个非常时代:牛顿(I. Newton, 1642—1727)力学的基础发生了动摇,可是用了牛顿力学的一些观念再加上一些新的往往不能自圆其说的假设,却又可以准确地描述许多原子结构方面奇特的实验结果。奥本海默(J. R. Oppenheimer, 1904—1967)这样描述这个不寻常的时代[⑦]:

> 那是一个在实验室里耐心工作的时代,有许多关键性的实验和大胆的决策,有许多错误的尝试和不成熟的假设。那是一个真挚通讯与匆忙会议的时代,有许多激烈的辩论和无情的批评,里面充满了巧妙的数学性的挡架方法。
>
> 对于那些参加者,那是一个创新的时代,自宇宙结构的新认识中他们得到了激奋,也尝到了恐惧。这段历史恐怕永远不会被完全记录下来。要写这段历史须要有像写奥迪帕斯(Oedipus)或写克伦威尔(Cromwell)那样的笔力,可是由于涉及的知识距离日常生活是如此遥远,实在很难想象有任何诗人或史家能胜任。

1925年夏天,23岁的海森堡在雾中摸索,终于摸到了方向,写了上面所提到的那篇文章。有人说这是300年来物理学史上继牛顿的《数学原理》以后影响最深远的一篇文章。

可是这篇文章只开创了一个摸索前进的方向,此后两年间还要通过玻恩(M. Born, 1882—1970)、狄拉克、薛定谔(E. Schrödinger, 1887—1961)、玻尔等人和海森堡自己的努力,量子力学的整体架构[⑧]才逐渐完成。量子力学使物理学跨入崭新的时代,更直接影响了20世纪的工业发展,举凡核能发电、核武器、激光、半导体元件等都是量子力学的产物。

1927年夏，25岁尚未结婚的海森堡当了莱比锡(Leipzig)大学理论物理系主任。后来成名的布洛赫(F. Bloch, 1905—1983，核磁共振机制创建者)和泰勒(E. Teller, 1908— ，“氢弹之父”，我在芝加哥大学时的博士学位导师)都是他的学生。他喜欢打乒乓球，而且极好胜。第一年他在系中称霸。1928年秋自美国来了一位博士后，自此海森堡只能屈居亚军。这位博士后的名字是大家都很熟悉的——周培源。

海森堡所有的文章都有一共同特点：朦胧、不清楚、有渣滓，与狄拉克的文章的风格形成一个鲜明的对比。读了海森堡的文章，你会惊叹他的独创力(originality)，然而会觉得问题还没有做完，没有做干净，还要发展下去；而读了狄拉克的文章，你也会惊叹他的独创力，同时却觉得他似乎已把一切都发展到了尽头，没有什么再可以做下去了。

前面提到狄拉克的文章给人“秋水文章不染尘”的感受。海森堡的文章则完全不同。二者对比清浊分明。我想不到有什么诗句或成语可以描述海森堡的文章，既能道出他的天才的独创性，又能描述他的思路中不清楚，有渣滓，有时似乎茫然乱摸索的特点。

(三)物理学与数学

海森堡和狄拉克的风格为什么如此不同？主要原因是他们所专注的物理学内涵不同。为了解释此点，请看图1所表示的物理学的三个部门和其中的关系：唯象理论(phenomenological theory)(2)是介乎实验(1)和理论架构(3)之间的研究。(1)和(2)合起来是实验物理，(2)和(3)合起来是理论物理，而理论物理的语言是数学。

物理学的发展通常自实验(1)开始，即自研究现象开始。关

于这一发展过程,我们可以举很多大大小小的例子。先举牛顿力学的历史为例。布拉赫(T. Brahe, 1546—1601)是实验天文物理学家,活动领域是(1)。他做了关于行星轨道的精密观测。后来开普勒(J. Kepler, 1571—1630)仔细分析布拉赫的数据,发现了有名的开普勒三大定律。这是唯象理论(2)。最后牛顿创建了牛顿力学与万有引力理论,其基础就是开普勒的三大定律。这是理论架构(3)。

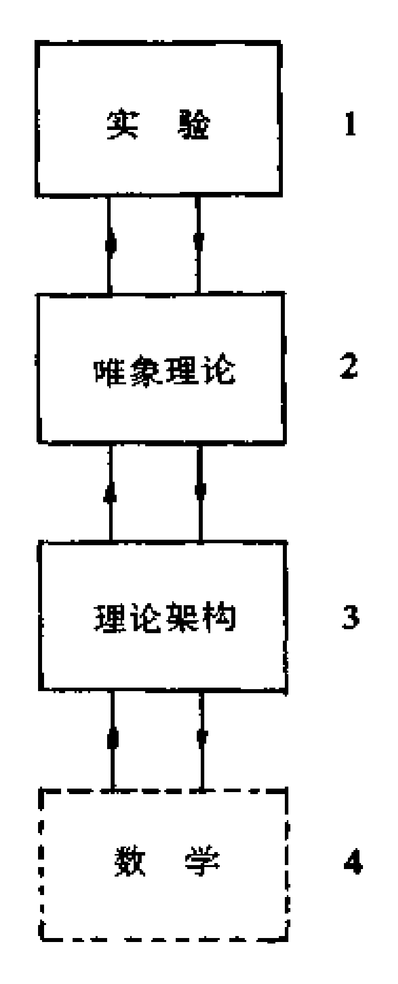


图1　物理学的三个领域

再举一个例子:通过18世纪末、19世纪初的许多电学和磁学的实验(1),安培(A. Ampère, 1775—1836)和法拉第(M. Faraday, 1791—1867)等人发展出了一些唯象理论(2)。最后由麦克斯韦归纳为有名的麦克斯韦方程(即电磁学方程),才步入理论架构(3)的范畴。

另一个例子:19世纪后半叶许多实验工作(1)引导出普朗克(M. Planck, 1858—1947)1900年的唯象理论(2)。然后经过爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)的文章和上面提到过的玻尔的工作等,又有一些重要发展,但这些都还是唯象理论(2)。最后通过量子力学之产生,才步入理论架构(3)的范畴。

海森堡和狄拉克的工作集中在图1所显示的那一些领域呢?狄拉克最重要的贡献是前面所提到的狄拉克方程(D)。海森堡最重要的贡献是海森堡方程[⑨],是量子力学的基础:

$$pq - qp = -i\hbar_{\circ} \tag{H}$$

这两个方程都是理论架构(3)中之尖端贡献。二者都达到物理学的最高境界。可是写出这两个方程的途径却截然不同;海森堡的灵感来自他对实验结果(1)与唯象理论(2)的认识,进而在摸索中达到了方程式(H)。狄拉克的灵感来自他对数学(4)的美的直觉欣赏,进而天才地写出他的方程(D)。他们二人喜好的,注意的方向不同,所以他们的工作的领域也不一样,如图2所示。(此图

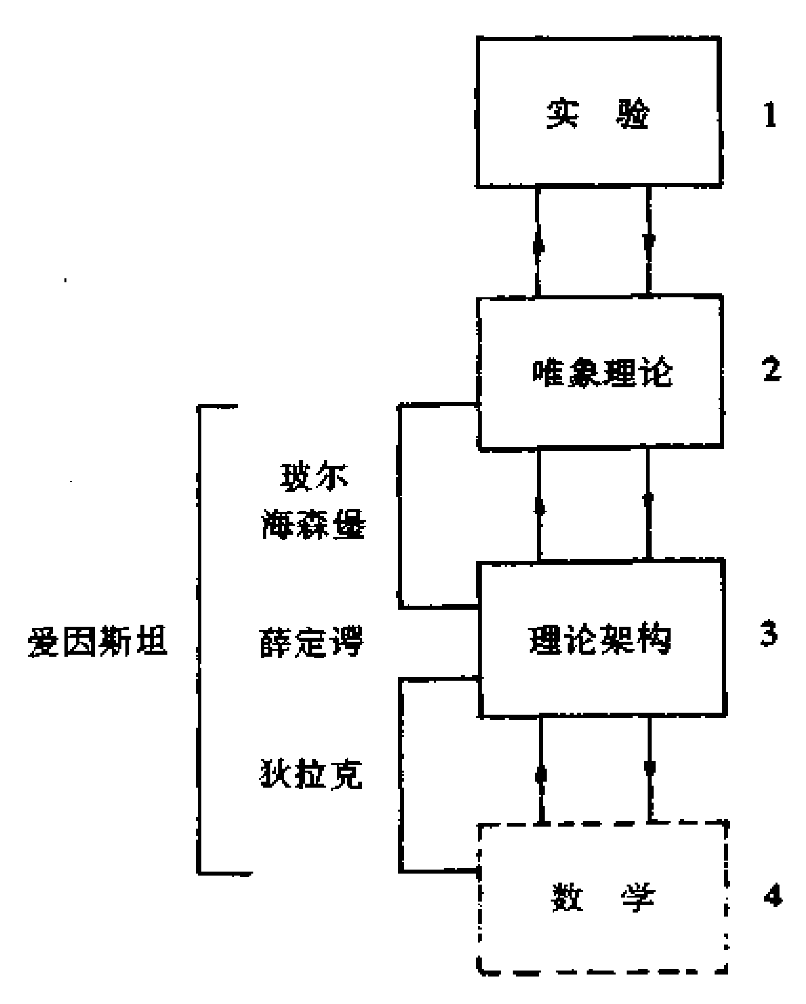


图2 几位20世纪物理学家的研究领域

也标明玻尔、薛定谔和爱因斯坦的研究领域。爱因斯坦兴趣广泛,在许多领域中,自(2)至(3)至(4),都曾做出划时代的贡献。)

海森堡从实验(1)与唯象理论(2)出发：实验与唯象理论是五光十色，错综复杂的，所以他要摸索，要犹豫，要尝试了再尝试，因此他的文章也就给读者不清楚，有渣滓的感觉。狄拉克则从他对数学的灵感出发：数学的最高境界是结构美，是简洁的逻辑美，因此他的文章也就给读者"秋水文章不染尘"的感受。

让我补充一点关于数学和物理的关系。我曾经把二者的关系表示为两片在茎处重叠的叶片(图 3)。重叠的地方同时是二者之根，二者之源。譬如微分方程、偏微分方程、希尔伯特空间、黎曼几何和纤维丛等，今天都是二者共用的基本观念。这是惊人的事实，因为首先达到这些观念的物理学家与数学家曾遵循完全不同的路径，完全不同的传统。为什么会殊途同归呢？大家今天没有很好的答案，恐怕永远不会有，因为答案必须牵扯到宇宙观、知识论和宗教信仰等难题。

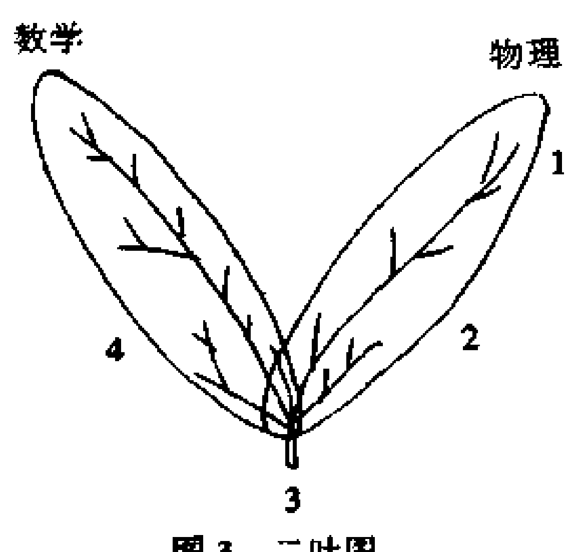


图 3　二叶图

必须注意的是在重叠的地方，共用的基本观念虽然如此惊人地相同，但是重叠的地方并不多，只占二者各自的极少部分。譬如实验(1)与唯象理论(2)都不在重叠区，而绝大部分的数学工作也在重叠区之外。另外值得注意的是即使在重叠区，虽然基本观念物理与数学共用，但是二者的价值观与传统截然不同，而二者发展的生命力也各自遵循不同的茎脉流通，如图 3 所示。

常常有年青朋友问我，他应该研究物理，还是研究数学。我的回答是这要看你对哪一个领域里的美和妙有更高的判断能力

和更大的喜爱。爱因斯坦在晚年时(1949年)曾经讨论过[10]为什么他选择了物理。他说：

> 在数学领域里，我的直觉不够，不能辨认哪些是真正重要的研究，哪些只是不重要的题目。而在物理领域里，我很快学到怎样找到基本问题来下功夫。

年青人面对选择前途方向时，要对自己的喜好与判断能力有正确的自我估价。

(四)美与物理学

物理学自(1)到(2)到(3)是自表面向深层的发展。表面有表面的结构，有表面的美。譬如虹和霓是极美的表面现象，人人都可以看到。实验工作者作了测量以后发现虹是42°的弧，红在外，紫在内；霓是50°的弧，红在内，紫在外。这种准确规律增加了实验工作者对自然现象的美的认识。这是第一步(1)。进一步的唯象理论研究(2)使物理学家了解到这42°与50°可以从阳光在水珠中的折射与反射推算出来，此种了解显示出了深一层的美。再进一步的研究更深入了解折射与反射现象本身可从一个包容万象的麦克斯韦方程推算出来，这就显示出了极深层的理论架构(3)的美。

牛顿的运动方程、麦克斯韦方程、爱因斯坦的狭义与广义相对论方程、狄拉克方程、海森堡方程和其他五六个方程是物理学理论架构的骨干。它们提炼了几个世纪的实验工作(1)与唯象理论(2)的精髓，达到了科学研究的最高境界。它们以极度浓缩的数学语言写出了物理世界的基本结构，可以说它们是造物者的诗篇。

这些方程还有一方面与诗有共同点：它们的内涵往往随着物理学的发展而产生新的、当初所完全没有想到的意义。举两个例

子:上面提到过的19世纪中叶写下来的麦克斯韦方程是在本世纪初通过爱因斯坦的工作才显示出高度的对称性,而这种对称性以后逐渐发展为20世纪物理学的一个最重要的中心思想。另一个例子是狄拉克方程。它最初完全没有被数学家所注意,而今天狄拉克流型(Dirac Manifold)已变成数学家热门研究的一个新课题。

学物理的人了解了这些像诗一样的方程的意义以后,对它们的美的感受是既直接而又十分复杂的。

它们的极度浓缩性和它们的包罗万象的特点也许可以用布雷克(W. Blake, 1757—1827)的不朽名句来描述[11]:

To see a World in a Grain of Sand
And a Heaven in A Wild Flower
Hold Infinity in the palm of your hand
And Eternity in an hour

它们的巨大影响也许可以用波普(A. Pope, 1688—1744)的名句来描述[12]:

Nature and nature's law lay hid in night:
God said, let Newton be! And all was light.

可是这些都不够,都不能全面地道出学物理的人面对这些方程的美的感受。缺少的似乎是一种庄严感,一种神圣感,一种初窥宇宙奥秘的畏惧感。我想缺少的恐怕正是筹建哥德式(Gothic)教堂的建筑师们所要歌颂的崇高美、灵魂美、宗教美、最终极的美。

参考文献:

① 见 *Ludwig Boltzmann*, E. Broda 编,第23页(Oxbow Press, 1983)。

② 杨振宁,《读书教学四十年》,第116页(香港三联书店,1985年)。

③ 此方程式中 p 是动量,c 是光速(=300,000公里/秒),m 是电子的质量,E 是能量,ψ 是波函数。这些都是当时大家已熟悉的观念。α 和 β 是狄拉克引进的新观念,十分简单但却影响极大。在物理学和数学中都起了超级作用。

④ 译自 A. Pais, *Inward Bound*, p. 348(Oxford University Press, 1986)。海森堡是当时最被狄拉克方程所烦扰的一位物理学家,因为他是这方面的大专家:1913年玻尔最早提出了量子数的观念,这些数都是整数。后来于1921年还不到20岁的学生海森堡大胆地提出量子数是1/2的可能。1925年两位年青的荷兰物理学家把1/2的量子数解释成自旋角动量。这一些发展都是唯象理论(2),它们得到了许多与实验(1)极端符合的结果,十分成功。可是它们都还只是东拼西凑出来的理论。狄拉克方程则不然,它极美妙地解释了为什么自旋角动量必须是1/2。由此我们很容易体会到当天才的海森堡看了狄拉克方程,在欣佩之余,必定会产生高度的烦恼。

⑤ 诺贝尔奖金委员会似乎持此观点:海森堡独获1932年诺贝尔奖,而狄拉克和薛定谔合获1933年诺贝尔奖。

⑥ 译自 A. Pais, *Niels Bohr's Times*, p. 276(Oxford University Press, 1991).

⑦ 译自 J. R. Oppenheimer, *Science and the Common Understanding* (The Reith Lectures 1953, Simon and Schuster, 1954)。引文最后一句是说荷马(Homer,古希腊诗人)和喀莱尔(T. Carlyle, 1795—1881)都恐怕难以胜任。

⑧ 紧跟着海森堡的文章,数月内即又有玻恩与约尔丹(P. Jordan, 1902—1980)的文章和玻恩、海森堡与约尔丹的文章。这三篇文章世称"一人文章"、"二人文章"及"三人文章",合起来奠定了量子力学的数学结构。狄拉克和薛定谔则分别从另外的途径也建立了同样的结构。但是这个数学结构的物理意义却一时没有明朗化。1927年海森堡的"测不准原理"和玻尔的"互补原理"才给量子力学的物理意义建立了"哥本哈根解释"。

⑨ 事实上海森堡并未能写下(H)。他当时的数学知识不够。(H)是在

注⑧所提到的二人文章与三人文章中最早出现的。

⑩ 节译自爱因斯坦的 Autobiographical Notes，原文见 *Albert Einstein*, *Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schilpp, Open Court, Evanston, Ill(1949)。

⑪ 陈之藩教授的译文（见他所写的《时空之海》，台北远东图书公司，1996，第47页）如下：

一粒砂里有一个世界
一朵花里有一个天堂
把无穷无尽握于手掌
永恒宁非是刹那时光

⑫ 我的翻译如下：

自然与自然规律为黑暗隐蔽：
上帝说，让牛顿来！一切即臻光明。

从国耻讲起

本文是作者于1997年7月16日在香港高等教育界庆回归晚宴上的讲词。原载香港《明报》副刊版，1997年7月20日。

香港回归是世纪级的历史大事，躬逢盛典，感慨良多。今天只讲其一端。

中国人常说鸦片战争是国耻，香港回归是雪了国耻。其实鸦片战争也是英国人的国耻，回归也雪了英国人的国耻。可是彭定康恐怕不肯承认这一点。

耻字在“耻辱”与“羞耻”中的意思是不大相同的。鸦片战争是中国的耻辱，是英国的羞耻。通常耻字被翻译为英文的“Shame”。这翻译不太正确，因为Shame表示做了不应该做的事。鸦片战争是英国人的Shame，不是中国人的Shame。

英国著名历史学家汤因比(Arnold J. Toynbee, 1889—1975)在他1947年11月17日的一篇演讲中这样讲到英国人在鸦片战争中的表现：

> 对于这些犯了国际公法的人，最容忍的说法是以后他们(指英国人)为他们的行为感到羞耻。我很记得小时候问我母亲关于“鸦片战争”时，她告诉了我实情，给了我赎罪性的羞耻感。[1]

他所说的赎罪性的羞耻感(我的翻译),原文是"redeeming sense of shame"。

汤因比的这本小书是1947年出版的,距今整整50年,那时他58岁。他以宏观的眼光,一方面回顾世界历史大事,一方面企图预测将来。书里面有许多讨论今天看了特别有意思。他眼光远大,从不以为世界只是欧洲人、美洲人的世界。他回忆8岁时候的一个经历:

> 作者回想到50年前,1897年,在伦敦的一个下午,他和他父亲坐在Fleet街一个窗口看加拿大和澳大利亚骑兵行列参加庆祝维多利亚女皇即位60周年的庆典。那时这些骑在马上极漂亮的队伍仍被称为"殖民地军队"。对于一个英国小孩,这个场面是极动人的。可是一个哲学家却可能想到物极必反。……至于多数观众看到的是他们的正午的太阳普照着全球,当然会相信这一切将是永恒的。②

汤因比应算是有眼光的历史学家。可是他却没有正确预料到这本小书出版后50年间的世界大事。比如书中有一段讨论美国与苏联以外会不会有第三个强国?他说:

> 我们在什么地方可以找到第三个强国?不在欧洲;也不在英联邦;当然也不在中国或印度,因为虽然这两国都有悠久文化,众多人口,广大土地,丰饶资源,但是这两个大国极不可能在未来关键性的历史年代里发展出他们的内在潜力。③

今天看来,汤因比的预言有两大错误。第一,他没有预见苏联的解体。第二,他没有预见强大的中国的崛起。

没有预见苏联的解体是因为他对苏联的基本政治结构没有了解。没有预见中国的崛起是特别值得我们今天深思的。我想

他对中国的潜力，对中国共产党的能力与中国文化的韧性恐怕都没有正确的认识。

注：

①②③ Civilization on Trial，牛津大学出版社(1947)，第74、17、142页。

父亲和我

本文原载香港《二十一世纪》双月刊，1997年12月号。

一

1922年我在安徽合肥出生的时候，父亲是安庆一所中学的教员。安庆当时也叫怀宁。父亲给我取名“振宁”，其中的“振”字是杨家的辈名，“宁”字就是怀宁的意思。我不满周岁的时候父亲考取了安徽留美公费生，出国前我们一家三口在合肥老宅院子的一角照了一张像片（像片二）。父亲穿着长袍马褂，站得毕挺。我想那以前他恐怕还从来没有穿过西服。两年以后他自美国寄给母亲的一张照片是在芝加哥大学照的（像片五），衣著、神情都已进入了20世纪。父亲相貌十分英俊，年轻时意气风发的神态，在这张像片中清楚地显示出来。

父亲1923年秋入斯坦福大学，1924年得学士学位后转入芝加哥大学读研究院。四十多年以后我在访问斯坦福大学时，参加了该校的中国同学会在一所小洋楼中举行的晚餐会。小洋楼是20世纪初年因为中国同学受到歧视，旧金山的华侨社团捐钱盖的，楼下供中国学生使用，楼上供少数中国同学居住。60年代这座小楼仍在，后来被拆掉了。那天晚餐前有一位同学给我看了楼

下的一个大木箱，其中有1924年斯坦福大学年刊，上面的Chinese Club团体照极为珍贵，现在复印为像片四。其左下角即为该小楼1923—1924年的照片。木箱中还有中国同学会1923年秋的开会纪录，其签名页今复印为像片三。

1928年夏父亲得了芝加哥大学的博士学位后乘船回国，母亲和我到上海去接他。我这次看见他，事实上等于看见了一个完全陌生的人。几天以后我们三人和一位自合肥来的佣人王姐乘船去厦门，因为父亲将就任为厦门大学数学系教授。

厦门那一年的生活我记得是很幸福的。也是我自父亲那里学到很多东西的一年。那一年以前，在合肥母亲曾教我认识了大约三千个汉字，我又曾在私塾里学过背《龙文鞭影》，可是没有机会接触新式教育。在厦门，父亲用大球、小球讲解太阳、地球与月球的运行情形；教了我英文字母"abcde…"；当然也教了我一些算术和鸡兔同笼一类的问题。不过他并没有忽略中国文化知识，也教我读了不少首唐诗，恐怕有三四十首；教我中国历史朝代的顺序："唐虞夏商周…"；干支顺序："甲乙丙丁…"，"子鼠丑牛寅虎…"；八卦："乾三联，坤六段，震仰盂，艮覆碗，离中虚，坎中满，兑上缺，巽下断"等等。

父亲少年时候喜欢唱京戏。那一年在厦门他还有时唱"我好比笼中鸟，有翅难展。…"不过他没有教我唱京戏，只教我唱一些民国初年的歌曲如"上下数千年，一脉延，…"，"中国男儿，中国男儿…"等。

父亲的围棋下得很好。那一年他教我下围棋。记得开始时他让我16子，多年以后渐渐退为9子，可是我始终没有从父亲那里得到"真传"。一直到1962年在日内瓦我们重聚时下围棋，他还是要让我7子。

像片九是1929年照的。父亲和母亲当时都那么年轻。像片

十也是同一年在厦门鼓浪屿日光岩上照的。那天我很显然不太高兴。三十多年以后，在1960年父亲与母亲自上海飞到日内瓦跟我团聚以前，三弟翻出这张照片要他们带去给我看。父亲说："不要带，不要带，那天我骂了振宁一顿，他很不高兴。"

这是没有做过父母的人不易完全了解的故事。

在厦大任教了一年以后，父亲改任北平清华大学教授。我们一家三口于1929年秋搬入清华园西院19号，那是西院东北角上的一所四合院(像片十三上的"A")。西院于1930年代向南方扩建后，我们家的门牌改为11号。

> 我们在清华园里一共住了八年，从1929年到抗战开始那一年。清华园的八年在我回忆中是非常美丽、非常幸福的。那时中国社会十分动荡，内忧外患，困难很多。但我们生活在清华园的围墙里头，不大与外界接触。我在这样一个被保护起来的环境里度过了童年。在我的记忆里头，清华园是很漂亮的。我跟我的小学同学们在园里到处游玩。几乎每一棵树我们都曾经爬过，每一棵草我们都曾经研究过。

这是我在1985年出版的一本小书《读书教学四十年》中第112页写的。里面所提到的"在园里到处游玩"，主要是指今天的近春园附近。那时西北起今天的校医院、近春楼、伟伦中心，南至今天的游泳池和供应科，东至今天的静斋，北到今天的蒙民伟楼旁的河以南的建筑，都还没有兴建，整块都是一大片荒地，只有一些树丛、土山、荷塘、小农田和几户农家，变成我们游玩的好地方。

像片十三是《国立清华大学1948级年刊》上的"平面全图"的一部分。图中"8"就是我读书的小学：成志学校，现在是工会。自1929年起我在这里读了四年书。我每天自西院东北角家门口

“A”出发，沿着像片十三上依稀可辨认的小路向南行，再向东南走，爬过一个小土山便到达当时的清华园围墙（“B”），然后沿着围墙北边的小路东行到成志学校。这样走一趟要差不多 20 分钟，假如路上没有看见蝴蝶或者蚂蚁搬家等重要事件的话。

另外一条我常常骑自行车走的路是像片十三中自家门口东北行的大路。此路的另一端是当时的校医院（即今天的蒙民伟楼）旁的桥（“D”）。每逢开运动会，我就骑自行车沿此路此桥去体育馆，和成志学校的同学们组织啦啦队呐喊助威。

父亲常常和我自家门口东行，沿着像片十三里面的第三条小路去古月堂或去科学馆。这条小路特别幽静，穿过树丛以后，有一大段路（在“C”附近）左边是农田与荷塘，右边是小土山。路上很少遇见行人，春夏秋冬的景色虽不同，幽静的气氛却一样。童年的我当时未能体会到，在小径上父亲和我一起走路的时刻是我们单独相处最亲近的时刻。

我九、十岁的时候，父亲已经知道我学数学的能力很强。到了 11 岁入初中的时候，我在这方面的能力更充分显示出来。回想起来，他当时如果教我解析几何和微积分，我一定学得很快，会使他十分高兴。可是他没有这样做：我初中一与初中二年级之间的暑假，父亲请雷海宗教授介绍一位历史系的学生教我《孟子》。雷先生介绍他的得意学生丁则良来。丁先生学识丰富，不只教我《孟子》，还给我讲了许多上古历史知识，是我在学校的教科书上从来没有学到的。下一年暑假，他又教我另一半的《孟子》，所以在中学的年代我可以背诵《孟子》全文。

父亲书架上有许多英文和德文的数学书籍，我常常翻看。印象最深的是 G. H. Hardy and E. M. Wright 的《数论》中的一些定理和 A. Speiser 的《有限群论》中的许多 space groups 的图。因为当时我的外文基础不够，所以不能看得懂细节。我曾多次去问父

亲，他总是说："慢慢来，不要着急"，只偶然给我解释一两个基本概念。

1937年抗战开始，我们一家先搬回合肥老家，后来在日军进入南京以后，我们经汉口、香港、海防、河内，于1938年3月到达昆明。我在昆明昆华中学读了半年高中二年级，没有念高三，于1938年秋以"同等学历"的资格考入了西南联合大学。

1938到1939这一年父亲介绍我接触了近代数学的精神。他借了G.H.Hardy的*Pure Mathematics*与E.T.Bell的*Men of Mathematics*给我看。他和我讨论set theory、不同的无限大、the Continuum Hypothesis等观念。这些都给了我不可磨灭的印象。四十年以后在*Selected Papers, 1945—1980, with Commentary* (Freeman and Company, 1983)第74页上我这样写道：

> 我的物理学界同事们大多对数学采取功利主义的态度。也许因为受我父亲的影响，我较为欣赏数学。我欣赏数学家的价值观，我赞美数学的优美和力量：它有战术上的机巧与灵活，又有战略上的雄才远虑。而且，奇迹的奇迹，它的一些美妙概念竟是支配物理世界的基本结构。①

父亲虽然给我介绍了数学的精神，却不赞成我念数学。他认为数学不够实用。1938年我报名考大学时很喜欢化学，就报了化学系。后来为准备入学考试，自修了高三物理，发现物理更合我的口味，这样我就进了西南联大物理系。

1941年秋为了写学士毕业论文，我去找吴大猷教授，

> [他]给了我一本*Reviews of Modern Physics*(《现代物理评论》)，叫我去研究其中一篇文章，看看有什么心得。这篇文章讨论的是分子光谱学和群论的关系。我把这篇文章拿回家给父亲看。他虽不是念物理的，却很了解群论。他给了我狄克逊

(Dickson)所写的一本小书,叫做 *Modern Algebraic Theories*(《近代代数理论》)。狄克逊是我父亲在芝加哥大学的老师。这本书写得非常合我的口味。因为它很精简,没有废话,在 20 页之间就把群论中"表示理论"非常美妙地完全讲清楚了。我学到了群论的美妙,和它在物理中应用的深入,对我后来的工作有决定性的影响。这个领域叫做对称原理。我对对称原理发生兴趣实起源于那年吴先生的引导。[2]

今年(1997)为了庆祝吴先生的 90 寿辰,邹祖德和我写了一篇文章[3],用群论方法计算 C_{60} 的振动频率。C_{60} 是一个对称性特高的分子,用群论讨论最合适。(有这样高度的对称的分子不仅在 1941 年吴先生和我没有预料到,在 1983 年我写上面的那段话时也还没有任何人预料到。)

抗战八年是艰苦困难的日子,也是我一生学习新知识最快的一段日子。最近三弟杨振汉曾这样描述 1945 年夏抗战结束时我家的情形:

> 1945 年夏,大哥获取了留美公费,将离家赴美国读博士。父亲高兴地告诉我们,艰苦和漫长的抗日战争看来即将过去,反德国法西斯战争也将结束。我家经受了战乱的洗礼,虽有精神和物质损失,但是我们家七口人都身体健康,学业有进,更可喜的是儿女们都孝顺父母,兄弟姐妹之间和睦相处,亲情常在,我们一家人相互之间的关系,的确非比寻常,这是我们每个人都十分珍视的。
>
> 抗战胜利至今已 51 年了,父亲、母亲和振复(振宁注:振复是我们的五弟,1937 年生,1985 年卒。)均已长眠于苏州东山。回忆抗战八年的艰苦岁月我们家真可称得上美好、和睦和亲情永驻的家。[4]

我还记得1945年8月28日那天我离家即将飞往印度转去美国的细节：清早父亲只身陪我自昆明西北角乘黄包车到东南郊拓东路等候去巫家坝飞机场的公共汽车。离家的时候，四个弟妹都依依不舍，母亲却很镇定，记得她没有流泪。到了拓东路父亲讲了些勉励的话，两人都很镇定。话别后我坐进很拥挤的公共汽车，起先还能从车窗往外看见父亲向我招手，几分钟后他即被拥挤的人群挤到远处去了。车中同去美国的同学很多，谈起话来，我的注意力即转移到飞行路线与气候变化等问题上去。等了一个多钟头，车始终没有发动。突然我旁边的一位美国人向我做手势，要我向窗外看：骤然间发现父亲原来还在那里等！他瘦削的身材，穿着长袍，额前头发已显斑白。看见他满面焦虑的样子，我忍了一早晨的热泪，一时崩发，不能自已。

1928年到1945年这十七年时间，是父亲和我常在一起的年代，是我童年到成人的阶段。古人说父母对子女有“养育”之恩。现在不讲这些了，但其哲理我认为是有永存的价值的。

二

1946年初我注册为芝加哥大学研究生。选择芝加哥大学倒不是因为它是父亲的母校，而是因为我仰慕已久的费米教授去了芝大[5]。当时芝加哥大学物理、化学、数学系都是第一流的。我在校共三年半，头两年半是研究生，得博士学位后留校一年任教员，1949年夏转去普林斯顿高等学术研究所。父亲对我在芝大读书成绩极好，当然十分高兴。更高兴的是我将去有名的普林斯顿高等学术研究所，可是他当时最关怀的不是这些，而是我的结婚问题。1949年秋吴大猷先生告诉我胡适先生要我去看他。胡先生我小时候在北平曾见过一两次，不知道隔了这么多年他为什么在纽约会想起我来。见了胡先生面，他十分客气，说了一些称

赞我的学业的话，然后说他在出国前曾看见我父亲，父亲托他关照我找女朋友的事。我今天还记得胡先生极风趣地接下去说："你们这一辈比我们能干多了，那里用得着我来帮忙！"

1950 年 8 月 26 日杜致礼和我在普林斯顿结婚。我们相识倒不是由胡先生或父亲的其他朋友所介绍，而是因为她是 1944 年到 1945 年我在昆明联大附中教书时中五班上的学生。当时我们并不熟识。后来在普林斯顿唯一的中国餐馆中偶遇，这恐怕是前生的姻缘吧。1950 年代胡先生常来普林斯顿大学葛斯德图书馆，曾多次来我家做客(像片二十七)。第一次来时他说："果然不出我所料，你自己找到了这样漂亮能干的太太。"

父亲对我 1947 年来美国后发表的第一篇文章与翌年我的博士论文特别发生兴趣，因为它们都与群论有密切关系。1957 年 1 月吴健雄的实验证实了宇称不守恒的理论以后，我打电话到上海给父亲，告诉他此消息。宇称不守恒与对称有关，因而也与群论有关，父亲当然十分兴奋。那时他身体极不好(1955 年因多年糖尿病加某种感染，不能吸收胰岛素，医生曾认为已无希望，后来幸能克服感染，但身体仍十分虚弱)，得此消息对他精神安慰极大。

1957 年我和杜致礼及我们当时唯一的孩子光诺(那时 6 岁)去日内瓦。我写信请父亲也去日内瓦和我们见面。他得到统战部的允许，以带病之身，经北京、莫斯科、布拉格，一路住医院，于 7 月初飞抵日内瓦，到达以后又立刻住入医院。医生检查数日，认为他可以出院，但每日要自己检查血糖与注射胰岛素。我们那年夏天在 Rue de Vermont 租了一公寓，每天清早光诺总是非常有兴趣地看着祖父用酒精灯检查血糖。我醒了以后他会跑来说："It is not good today, it is brown."(今天不好，棕色。)或"It is very good today, it is blue."(今天很好，蓝色。)过了几星期，父亲身体渐恢复健康，能和小孙子去公园散步。他们非常高兴在公园一边

的树丛中找到了一个"secret path"(秘密通道)。每次看他们一老一少准备出门:父亲对着镜子梳头发,光诺雀跃地开门,我感到无限的满足。

父亲给致礼和我介绍了新中国的许多新事物。他对毛主席万分敬佩,尤其喜欢毛的诗句如"指点江山/激扬文字/粪土当年万户侯",与"秦皇汉武/略输文采/唐宗宋祖/稍逊风骚/一代天骄/成吉思汗/只识弯弓射大雕/俱往矣/数风流人物/还看今朝"等。

有一天他给致礼和我写了两句话(像片三十二)。今天的年青人恐怕会觉得这两句话有一点封建味道,可是我以为封建时代的思想虽然有许多是要不得的,但也有许多是有永久价值的。

1960 年夏及 1962 年夏,父亲又和母亲两度与我在日内瓦团聚。致礼、光宇(我们的老二)和二弟振平也都参加了。每次团聚头两天总是非常感情冲动(像片三十三)。讲一些自己的和家人与亲友们的遭遇。以后慢慢镇静下来,才能欣赏瑞士的一切。

父亲三次来日内瓦,尤其后两次,都带有使命感,觉得他应当劝我回国。这当然是统战部或明或暗的建议,不过一方面也是父亲自己灵魂深处的愿望。可是他又十分矛盾:一方面他有此愿望,另一方面他又觉得我应该留在美国,力求在学术上更上一层楼。

和父亲、母亲在日内瓦三次见面,对我影响极大。那些年代在美国对中国的实际情形很少知道。三次见面使我体会到了父亲和母亲对新中国的看法。记得 1962 年我们住在 Route de Florissant,有一个晚上,父亲说新中国使中国人真正站起来了:从前不会做一根针,今天可以制造汽车和飞机(那时还没有制成原子弹,父亲也不知道中国已在研制原子弹)。从前常常有水灾旱灾,动辄死去几百万人,今天完全没有了。从前文盲遍野,今天至少城市里面所有小孩都能上学。从前……今天……正说得高兴,

母亲打断了他的话说“你不要专讲这些。我摸黑起来去买豆腐，站排站了三个钟头，还只能买到两块不整齐的，有什么好?”父亲很生气，说她专门扯他的后腿，给儿子错误的印象，气得走进卧室，“砰”的一声关上了门。

我知道他们二位的话都有道理，而且二者并不矛盾：国家的诞生好比婴儿的诞生，只是会有更多的困难，会有更大的痛苦。

三.

1971 年夏天我回到了阔别二十六年的祖国。那天乘法航自缅甸东飞，进入云南上空时，驾驶员说“我们已进入中国领空!”当时我的激动的心情是无法描述的。

傍晚时分，到达上海。母亲和弟妹们在机场接我。我们一同去华山医院看望父亲。父亲住院已有半年。上一次我们见面是 1964 年底在香港，那时他 68 岁，还很健康。六年半中间，受了一些隔离审查的苦，老了、瘦了许多，已不能自己站立行走。见到我当然十分激动。

1972 年夏天我第二度回国探亲访问。父亲仍然住在医院，身体更衰弱了。次年 5 月 12 日清晨父亲长辞人世。享年 77 岁。5 月 15 日在上海为父亲开的追悼会上，我的悼词有这样两段：

近两年来父亲身体日衰。他自己体会到这一点，也就对我们的一切思想和行为想得很多。1971 年、1972 年我来上海探望他，他和我谈了许多话，归根起来他再三要我把眼光放远，看清历史演变的潮流，这个教训两年来在我身上产生了很大的影响。

父亲于 1973 年 5 月 12 日长辞人世。在他的一生七十七年的时间里，历史有了惊天动地的演变。昨天收到他一位老同学，又是老同事的信，上面说，“在青年时代，我们都向往一个繁荣昌

盛的新中国。解放以后二十多年来在毛主席和中国共产党的英明领导下，当时我们青年梦寐以求的这个新中国实现了。"我想新中国的实现这个伟大的历史事实以及它对于世界前途的意义正是父亲要求我们清楚地掌握的。⑥

6岁以前我生活在老家安徽合肥，在一个大家庭里面。每年旧历新年正厅门口都要换上新的春联。上联是"忠厚传家"，下联是"诗书继世"。父亲一生确实贯彻了"忠"与"厚"两个字。另外他喜欢他的名字杨克纯中的"纯"字，也极喜欢朋友间的"信"与"义"。父亲去世以后，我的小学同班同学、挚友熊秉明写信来安慰我，说父亲虽已过去，我的身体里还循环着他的血液。是的，我的身体里循环着的是父亲的血液，是中华文化的血液。

我于1964年春天入美国籍。差不多20年以后我在论文集中这样写道：

从1945至1964年，我在美国已经生活了19年，包括了我成年的大部分时光。然而，决定申请入美国籍并不容易。我猜想，从大多数国家来的许多移民也都有同类问题。但是对一个在中国传统文化里成长的人，作这样的决定尤其不容易。一方面，传统的中国文化根本就没有长期离开中国移居他国的观念。迁居别国曾一度被认为是彻底的背叛。另一方面，中国有过辉煌灿烂的文化。她近一百多年来所蒙受的屈辱和剥削在每一个中国人的心灵中都留下了极深的烙印。任何一个中国人都难以忘却这一百多年的历史。我父亲在1973年故去之前一直在北京和上海当数学教授。他曾在芝加哥大学获得博士学位。他游历甚广。但我知道，直到临终前，对于我的放弃故国，他在心底里的一角始终没有宽恕过我。⑦

四

百载魂牵黄土地
三春雨润紫荆花
蔡国平撰[8]

1997年7月1日清晨零时，我有幸在香港会议展览中心参加了回归盛典。看着中华人民共和国国旗在"起来，不愿做奴隶的人们"的音乐声中冉冉上升，想到父亲如果能目睹这历史性的，象征中华民族复兴的仪式，一定比我还要激动。他出生于1896年——101年前，马关条约、庚子赔款的年代，在残破贫穷，被列强欺侮，实质上已被瓜分了的祖国。他们那一辈的中国知识分子，目睹洋人在租界中的专横，忍受了二十一条款，五卅惨案，九一八事变，南京大屠杀等说不完的外人欺凌，出国后尝了种族歧视的滋味，他们是多么盼望有一天能看到站了起来的富强的祖国，能看到"大英帝国"落旗退兵，能看到中国国旗骄傲地向世界宣称：这是中国的土地。这一天，1997年7月1日，正是他们一生梦寐以求的一天。

父亲对这一天的终会到来始终是乐观的。可是直到1973年去世的时候，他却完全没有想到他的儿子会躬逢这一天的历史性的盛典。否则他恐怕会改吟陆放翁的名句吧：

国耻尽雪欢庆日　家祭毋忘告乃翁

注：

① 译文见张奠宙：《杨振宁和当代数学》，载于杨振宁《读书教学再十年》，第200页(台北时报出版社，1995)。

② 杨振宁：《读书教学四十年》，第114页(香港三联书店，1985)。

③ T. T. Chou and Chen Ning Yang, Phys. Letters A 235, 97—104

(1997).

④ 杨振汉《家、家教、教育》,载于徐胜兰、孟东明:《杨振宁传》,第 261—262 页(复旦大学出版社,1997)。

⑤ 杨振宁:《读书教学四十年》,第 115—116 页(香港三联书店,1985)。

⑥ 杨振宁:《读书教学四十年》,第 71 页(香港三联书店,1985)。此段所提到的老同学、老同事是周培源先生。

⑦ 杨振宁著,甘幼玶译:《三十五年心路》,第 123 页(广西科学技术出版社,1989)。原文见 Chen Ning Yang:《Selected Papers with Commentary》第 56 页(W.H.Freeman and Co., 1983)。

⑧ 原载香港大公报 1997 年 7 月 23 日 E2 版。



附录一　家世亲情

杨振宁家世述略

刘秉均

1956年，杨振宁、李政道两博士提出“宇称不守恒定律”后，不但在全世界物理学界，而且在整个科学界引起了震动。但是，也仍然有些人对此理论持怀疑态度。

1957年1月的第一个星期五，华裔女物理学家吴健雄博士，在常例聚餐会上，宣布了自己实验结果，使“宇称不守恒定律”有了实践依据。不久，杨振宁、李政道又以华裔人士第一次获得“诺贝尔奖金”的荣誉被载入世界科学史册。

时间不断流逝，到了1971年7月，久别故土的杨振宁，第一次回到社会主义祖国的首都北京，并受到了周恩来总理的亲切接见。1971年7月25日，杨振宁带着兴奋激动的心情，回到了阔别30多年的故乡合肥市，探望叔父和亲友，受到了家乡人民的热情欢迎。合肥的父老乡亲，为有这个杰出的子弟而骄傲。杨振宁，又成为合肥人时常谈论的话题。至于他的家族世系如何？却知者甚少。爰就幼时闻于母氏暨几位表兄所言者记于后，作为对

外祖家的怀念。

公元1877年(清光绪三年),杨振宁的曾祖父,太湖县都司杨家驹(字越千),任满致仕,携带家小循旱路回凤阳府城原籍,道经合肥,拜望老同寅张厚斋(合肥著名书法家张琴襄之父),相聚甚欢,流连数月。杨家驹在凤阳府城原籍并无恒产,兼少亲友,见合肥物产丰富,民俗敦厚,经张厚斋力劝,遂在合肥落户。杨家驹夫人周氏,生有五子二女。长邦盛(字慕唐)、次邦瑞(字云峰)、又次××(早逝佚名)、再次邦庆(字少山)、幼邦甸。长女邦凤(适龚孟文)、幼女邦箴(适刘芷生)。杨家驹官卑俸薄,家境清贫,生计维艰,膏火难继,因此除邦盛、邦甸继续读书应试外,邦瑞、邦庆均习商业。杨夫妇殁后,俱葬合肥。由于墓石被盗,其生卒年月,虽杨氏后人亦无从查考。

长子杨邦盛一介书生,后又游幕在外,且逝世较早,经纪家事的重担,就落在他二弟杨邦瑞肩上。举凡筹措家庭用度、料理弟妹婚嫁、教育子侄,都是由他主管。夫人范氏,人极贤慧,操持家务,抚育长房遗孤,无不尽心竭力。老夫妇深受晚辈爱戴,亲朋也赞美备至。杨邦瑞由芜湖同茂钱庄聘为驻外庄客(高级职员)。当时同茂钱庄的放款对象主要是盐商。钱庄派他监督有关盐商的进盐、销盐以及催还欠款。由是经常往来扬州、运漕、巢县、襄安、庐江、合肥等地,数十年风雨中途,备极辛劳,1919年冬卒于合肥。范夫人遂由长房侄力瑳侍养,1944年卒于上海。杨邦瑞只生一子名克暄,字华勋,号午樵,在堂兄弟(克字辈)中排行居长。杨午樵自幼读书,雅善书法,先学书于刘仿渠,继受业于张琴襄。张以通家世好,遂悉心指点,传以沈石翁心法,由是杨书法大进,擅魏碑,兼及篆籀,名重合肥。他还喜花、鸟、鱼、虫,雇有专人饲养。尤喜斗蟋蟀,年蓄数十盆,为合肥秋声社(斗蟋蟀的组织)主要成员。午樵美仪容而风流自赏,耽佚乐固荒于治事,子女夭

折，晚境孤凄，1953年春卒于合肥。

杨家驹的三子，少年外出从军，不久殁于军中，由于逝世较早，且未成家，杨氏后人遂佚其名。

杨邦庆初学徒于杂货业，后与其妹夫刘芷生合作经营羽毛业多年，结婚后即另立门户。约卒于1945年初。夫人胡氏，生二子，长克钧（字仲平，堂兄弟中排行第二），幼克力（字益明，堂兄弟中排行第七），均经商。克力1979年卒于合肥。克钧1982年卒于贵州遵义，为克字辈中享寿最永，逝世最后者。

杨邦甸，清末考取秀才，夫人某氏生二子，长早殇（堂兄弟中第五）、幼克炳（字焕安，堂兄弟中排行第六，然家人讳老五之早殇，恒呼以“五”）。邦甸夫妇早逝，其事迹不显。焕安15岁到其姑父刘芷生店中习商业，成年后深为刘所倚重，任鑫昌纱布羽毛号经理多年，当年在合肥商界中颇知名。抗日战争发生后，经商于蚌埠，1981年病卒。

杨振宁的祖父杨邦盛，字慕唐，家驹公长子。生于1862年（清同治元年），自幼读书，1880年（18岁）回凤阳原籍应考，得中秀才。旧例：客籍童生可以不回原籍就地报考，但须廪生二人具保。请廪生具保要花二两银子送礼，由于筹措不出这二两银子，不得不步行数百里回凤阳应考。杨家当时经济拮据的情况，可以想见。自1881年起，杨邦盛白天在家设蒙馆授徒，藉以糊口。晚间则就学于邻居蔡启襄先生，继续深造。1904年（清光绪三十年），邦盛去天津，投入合肥人段芝贵（时任津南巡警道）幕中司笔札。有了固定收入，加上邦瑞的经商收入，杨家生活开始稳定。1907年，段芝贵用银一万两为天津名坤伶杨翠喜赎身，献与满清皇族载振作妾，以这一卑鄙手段，走上后门，升任黑龙江巡抚，离天津（这一官场丑闻曾喧腾朝野），杨邦盛遂告赋闲。他在北京闲住一年，于1908年去奉天另谋职业，不幸在沈阳旅店中染鼠疫去

世，终年46岁。噩耗传到合肥，杨邦瑞迅即赶往料理后事。运柩归葬。杨邦盛夫人王氏，生二子。杨振宁的父亲克纯（字武之）居长（在堂兄弟中排行第三），次为克岐（字力瑳，在堂兄弟中排行第四）。王夫人卒于1905年，早于杨邦盛三年，享年36岁。杨邦盛之柩原葬于合肥德胜门外十里店，王夫人坟在东门外张大岗。中华人民共和国成立后，均迁往北门外五里井民政局公墓合葬。杨邦盛游幕数年略有积蓄，由邦瑞购得西大街市房一所（原地址是四古巷，现合肥市安庆路315号），前后七进，前三进租给启源泰中药店，后四进自用。邦盛夫妇亡故后，武之、力瑳由叔父邦瑞、婶母范氏抚育成长。

杨振宁的父亲杨克纯，字武之，邦盛长子，在堂兄弟中虽排行老三，按照旧时谱系，实为长房长孙，生于1896年。他为人耿直无私，勤奋好学。1914年（民国三年）毕业于安徽省立第二中学（四年制，原校址现为合肥市第九中学），翌年考入北京师范大学预科，1918年毕业于北师大本科。毕业后受老同学蔡蔚桥之聘，回母校（二中）任教，并担任舍监（训育主任）。当时社会风气败坏，学校纪律松弛，住读生中有少数纨绔子弟，经常不守校规，在外赌博宿娼深夜不归。杨武之忠于教育事业，决心加以整顿。事先公开宣布自某日起，晚间9时半熄灯，校门上锁，任何人叫门均不得开锁，并亲自保管钥匙。这个制度执行不久，即有少数人蓄谋闹事。某晚有些人藉口在外看戏半夜始回，高声叫门，武之坚拒不允。这些人遂越墙而入，手执铁叉、木棒到处寻搜他，意欲行凶伤害。幸校中职工把他藏于床后，用蚊帐遮住，后又伺机将他送出校门，仓惶避于姑父刘芷生家。这些闹事学生，觅杨不得，竟把他的卧室捣毁，蚊帐烧掉。次日闹事者仍叫嚣搜索。并扬言：在何处发现，就在何处将杨打死。出事之后，校方虽欲开除闹事学生，请武之回校，但当时政治腐败，阻力甚多，迁延未决，武之遂

愤而离肥，去安庆某中学教书，时在1921年前后。1923年，武之考取省官费去美留学。斯时，补助出国留学有两种官费，一种为全国性的，如中英、中美庚款等，全国各省的大学毕业生均可申请报考，由教育部出题考试，补助金额较大，足敷国外用度；另一种为省官费，由省教育厅考选，补助金额较少，不足之数要自己筹措。武之去美后，在斯坦福大学读书一年，攻数学，获学士学位。次年入芝加哥大学。苦于用度不足，不得不实行半工半读。他曾做过为餐厅洗碗、为农场主摘葡萄等临时杂工。1928年得数学博士学位，学成回国。事后，武之曾对人言，如不经这一关，不会发愤出国，将和其他同事一样，终老于中学数学教师。回国后，初在厦门大学任教，翌年去清华大学任教授，后为数学系主任。清华旧例，教授任满五年者，可以休假一年，工资照发。武之利用休假机会，于1934年二次出国去德国，在柏林大学继续研究数学，1935年回清华执教。

武之幼年时即由父母决定与同乡罗竹泉之女罗孟华订婚，于1919年结婚。罗为家庭妇女，文化不高，然武之同她的感情始终很好，伉俪之情甚笃。曾言："夫妇应始终如一，胡适之从来不嫌弃他的小脚太太。我很赞成他。"罗孟华生四子一女，长子振宁，1922年生于老宅（现合肥市安庆路315号）第五进东正屋内，次子振平，三子振汉，女振玉，生于北平清华园；幼子振复，1937年秋生于合肥。振宁于1945年由昆明去美，振平1948年由沪去美，二子现均定居美国。武之自奉甚俭。抗日战争前，物价稳定，薄有积蓄，交其弟力瑳代为营运。1936年，力瑳代以银元2600余元，购得住房一宅，宅在合肥北油坊巷内。1937年，七七事变后，武之率眷回合肥，始居此宅数月（幼子振复即生于此宅内，以后流寓在外，未再回肥。此宅建国以后售予人民银行，现已拆除，建为高层宿舍）。斯时，振宁已在北平读完中四，报考高二，作为

借读生入学于合肥庐州中学①。开学不久(约在11月上旬),为避日本侵略军飞机轰炸,学校由合肥迁往三河镇恢复上课,未几即停。平、津、沪三地沦陷后,北大、清华、南开三校内迁长沙,后又迁昆明,组成西南联大。武之约在9月份离肥往长沙,1938年1月由长沙回至桃溪镇迎取家眷同往昆明,任教于西南联大。抗战胜利后,各校复员,仍回清华。北平解放前夕,武之至上海,执教于同济大学。不久,又转至复旦大学。晚年患糖尿病甚重,卧床多年,终不起,卒于1973年5月。武之竭其毕生精力于教育事业,为国内著名数学教授之一,循循善诱,诲人不倦,培育出不少人才。著名数学家华罗庚的优异天才,系武之所首先发现,而荐之于熊庆来。1935年夏,武之自欧洲乘意大利邮轮"康特·凡第"号回国,过沪小憩,曾言及,华罗庚在写给他的信中有云:"古人云生我者父母,知我者鲍叔,我之鲍叔乃杨师也。"可见两人相知之深。解放前,武之不附当道,不畏权贵,1939年,其表弟刘秉钧流寓昆明适与国民党空军政治部主任蒋坚忍为邻,偶以小事遭彼之怒,百般威胁。武之直诣其室,面斥其非,蒋为折服。武之生平无他嗜,自幼酷爱围棋,在清华时,曾与日高手对弈平局。武之性格坚毅,过不惮改,少时(约16岁)曾有两次到邻家赌博。晚归,其叔邦瑞知之,独坐厅堂以待,见面但云:"天已不早,汝身上冷否。"武之惭赧,自此终生不赌。武之天性纯厚,极爱其弟力瑳,幼时爱养鸽,一日,力瑳放走生鸽,甚怒,将抱而扑。顿忆父母俱亡,弱弟堪怜,反笑而释之。从此,两兄弟一生再没有争吵。武之殁后,陈望道代表复旦大学党委在追悼会上致悼词,给予高度评价,足慰亡者。

杨振宁的胞叔杨克岐,字力瑳,一字嶷初,又以"嶷"、"瑳"二字常为人所误读,一度改为力初,但最普遍用的则为"力瑳"。杨力瑳生于1898年(清光绪二十四年),比其兄武之小2岁。他7

岁丧母、10岁丧父，初读私塾，12岁进育才小学高小班。14岁去运漕镇公合兴钱庄学徒，17岁出师，随叔父杨邦瑞往来扬州、无为、襄安、庐江、巢县、合肥等地料理售盐业务。时杨邦瑞为芜湖同茂钱庄驻外庄客，力瑳则为他的办事人员，俗称小庄客（低级职员），如是者数年。1919年杨邦瑞病卒，力瑳继之为同茂驻外庄客（高级职员）。他这时已略有积蓄，湊集银元500元随姑父刘芷生经营羽毛业。1923年春，正式离开同茂钱庄为刘芷生在上海驻庄，这是两人合作经营的开始，一直持续到1938年。在此期间，杨力瑳的经商活动，多半与刘有密切联系。1928年，杨力瑳当选为合肥县商会主席。当选前有一段插曲。是时，三十三军军长柏烈武（文蔚）反蒋介石失败，其主力部队已先撤往蚌埠。所部师长阮玄武率部殿后，兵至舒城，欲经合肥往蚌埠会师。合肥驻军（蒋系）兵力不足一团，准备背城一战，要求商会筹措军饷。杨力瑳以羽毛业代表身份参加这次筹饷会议，力排众议，分析了当时形势。提出：客军（阮玄武师）后有追兵，急于北上会师，进攻合肥意在筹饷，如馈以数千金接济军饷，劝其改道正阳关水路去蚌，同时，动员军民上城，以示有备，则战祸可免。众人从其议。驻军团长本怯于战，亦同意这种作法。于是派杨力瑳和杨仲台（与阮在保定军官学校同学）作为商界代表，攜银元数千，迎阮玄武于舒城。见面之后，力瑳动以乡情（阮为合肥北乡人），说以利害，指出城坚易守，攻必无功，迁延时日，影响会师，不如改道息争，既免桑梓糜烂，又可得充军实。阮为所动，收款改道，循正阳关入淮河去蚌埠。由是杨力瑳之名大噪，商会改选，遂一跃而居首位。这届商会在杨力瑳的主持下，基于维护民族资产阶级利益出发，与过去有所不同，如出版刊物《合肥商报》，举办商团维护城内治安，同时，对于反动政权，亦稍加反抗。例如1929年，合肥县长汪啸涯，以禁烟为名，向富商陈璞完敲诈巨款不遂，欲加逮捕，商会出面干

涉，赶跑了汪啸涯。由杨力瑳(代表商界)、张践初(代表绅界)、曹穆如(代表学界)三人共同代理县事达3月之久。又如合肥县长汪培实擅自发行流通券，商会发动商民拒绝收受，迫使汪培实停止发行。再如驻军旅长刘振扬向商会强借巨款，杨力瑳坚拒不允，虽被拘往灵璧县暂押，终不屈服。1935年，杨力瑳被聘为上海商业储蓄银行合肥办事处经理。抗战爆发后，上行总经理陈光甫以力瑳长于经商，任为大业公司昆明分公司经理。1940年以后，回上海继续经商。1952年与人合组和济公司租营蚌埠信丰面粉厂，任副经理。1956年任蚌埠市工商联副主委，1959年调民建安徽省工作委员会副秘书长。1979年10月病卒于合肥，终年81岁。

杨力瑳资性颖悟，虽少年失学，然文墨尚佳，且棋琴书画、医卜星相亦稍涉猎。仪容清秀，风度翩翩，揖让进退，潇洒自如，语言隽雅，长于应对。年轻时颇自负，常以："君子疾没世，而名有不称也"自励。解放后，他坚持听、跟、走，认真接受社会主义改造，思想变化较大。晚年久病卧床，仍经常力疾作书，遍寄海外家属、亲故，宣传党的政策，致力于祖国统一大业。杨力瑳元配吴鼎淑生振华、振元、振英、振芳四女，振声、振怀、振东三子，1936年初吴氏病卒，后续娶温季明为室，又生振宇、振斌、振和三子。长子振声定居美国。次子振怀现任水利电力部副部长。(编者按：杨振怀，1988年升任水利部部长。)

杨家驹长期流寓在外，失去宗谱，谱名止于"邦"字。下一辈由杨邦盛定为"克"字。杨力瑳生长女振华时，又把下一辈定为"振"字，各房同意全用"振"字，遂凑成"家邦克振"四代。1945年，杨力瑳曾拟好十六字作为谱系，即："家邦克振，存厚公忠，笃学勤业，奉世荣同。"但杨武之对此不感兴趣，因此，连杨力瑳自己这一房亦未统一。除振声两个女儿的中文名字为存华、存德，以

及振东、振斌、振和三房所生子女仍按"存"字取名外，其余均取各名。

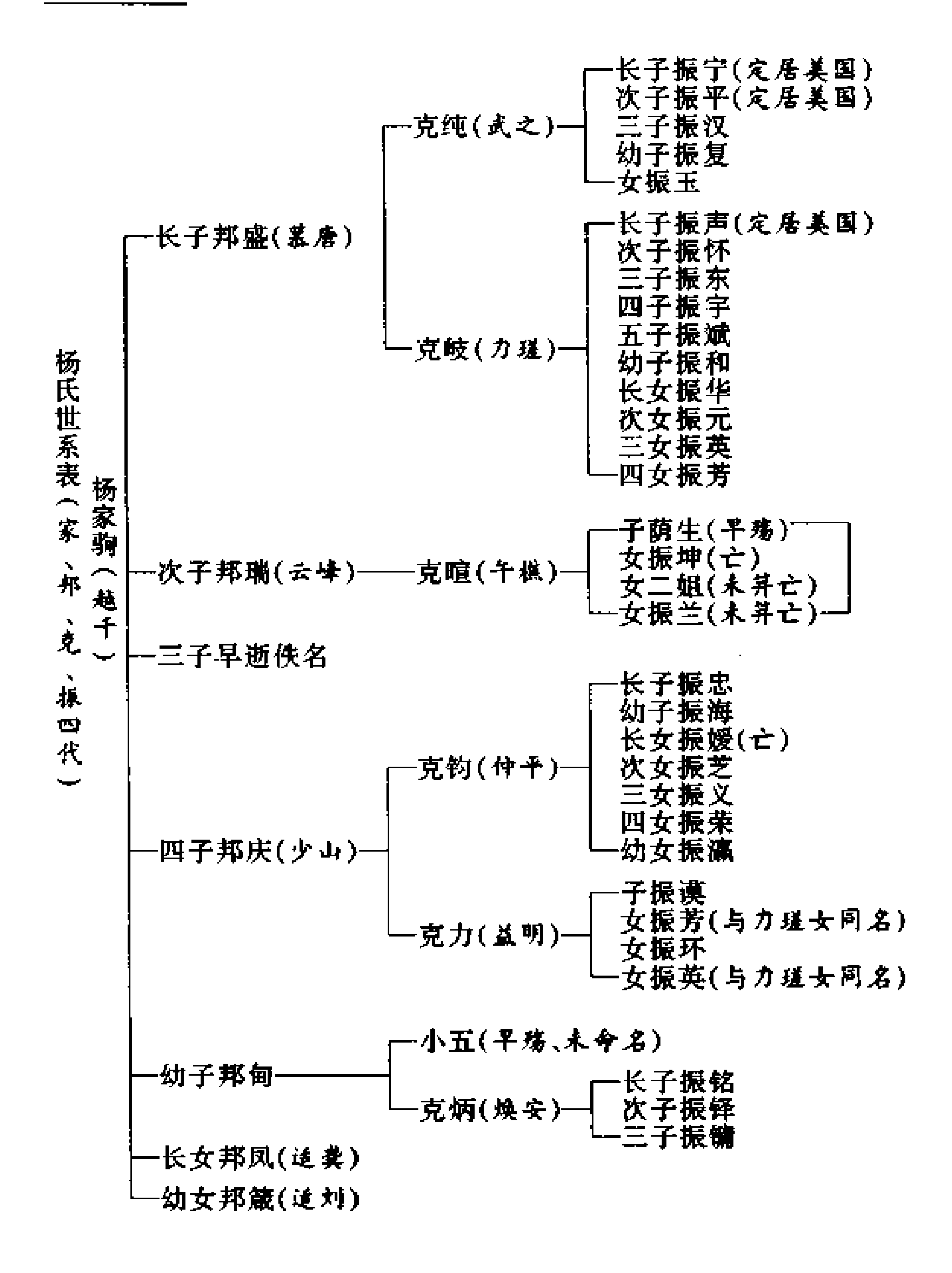
杨家"克"字辈共7个男子(其中老五早殇)，无一女子。然据杨力瑳言："邦盛公于1906年曾在北京续弦，生一女，二叔邦瑞运父柩回籍时，继母携妹回母家，遂失联系。武之在清华时曾多方寻找未获。"若此，"克"字辈固有一女，唯未归宗而已。"振"字辈共33人，男子17人，女子16人，已去世者5人，现存28人，定居美国者3人(振宁、振声、振平)，散居外省者21人，在合肥原籍者9人。

自杨氏寄籍合肥，外祖家驹公以降，一本五枝，一枝早萎，三枝日益繁茂，长房尤昌盛，人才辈出，武之、力瑳发其轫，振宁、振声、振怀、振平、振汉光其后，惜一枝中折，二房传到午樵无后，悲夫!

注：

① 省立六中已于1934年改名"庐州中学"，但一般人仍以旧校六中目之。校址为大书院(现省府招待所)非小书院(现九中)，小书院当时为庐州师范。

(杨振宁注：此文原载《合肥文史资料》第1辑，写于1983年前后。作者刘秉钧是文中刘芷生之长子，是我的祖父的外甥。刘家与杨家数代姻亲，刘秉钧对我家历史知之甚详。文中小有错误之处，如我父亲去美留学之年份，已改过。)



（本文原载《合肥文史资料》第1辑，经杨振宁教授修正，收入《读书教学再十年》，台湾时报出版公司，1995年。）

父亲与大哥

杨振平

1922年阴历8月11日，大哥出生于安徽省合肥县，父亲当时在安庆(怀宁)教中学，大哥的名字就取为振宁，“振”是我们杨家这一代的共有名，是“家、邦、克、振”的最后一个字。

1928年，父亲刚从美国留学归国，任教于靠海的厦门大学数学系。他、母亲和6岁的大哥常去海滨散步。很多孩子们都在捡蚌壳。大哥挑的贝壳常常是很精致，但多半是极小的。父亲说他觉得那是振宁的观察力不同于常人的一个表现。

振宁生来是个“左撇子”。在中国传统观念里，“左”是不吉利的。孩子生来左倾，至少用箸、执笔得换成右手。母亲费了一番精力把大哥吃饭、写字改成右手，可是他打乒乓、弹弹子、扔瓦片，仍旧自然地用左手，因为人的左脑控制右手，而右脑控制左手。我常常在想他的后来的异乎寻常的成就也许和两边脑子同时运用有关系。

父亲常常跟大哥讲历史、科学，并且提到诺贝尔奖金。童年时的振宁曾说他将来要得到此奖。父亲当时觉得这是孩子的无知妄语。岂知廿年之后，从前儿时戏言竟成事实。1962年父亲在日内瓦跟我提起这事的时候还使我觉得他有一种微妙的命运感。

父亲早在1934、1935年就曾经在大哥的像片背面写了“宁儿

似有异禀"(像片十二)。念书对振宁是很不费劲儿的。他 7 岁就进了小学三年级。一般孩子对念书觉得是苦事,他则恰恰相反,他生来就有极强的好奇心,敏锐的观感。所以他对很多东西都有兴趣,在运动方面他会溜冰、打冰球、打墙球和骑自行车。

从 1929 到 1937 年,父亲任教于北平清华大学数学系。我们家就住在清华园教职员宿舍里。大哥和一群年纪相当的教职员子弟骑车在清华园到处跑。他说他们常常从气象台所在的坡顶上骑车冲下来在一座没有栏杆而只用两片木板搭成的小桥上疾驰而过。车行急速,十分过瘾。多年以后,上了年纪的他说,回想起来,那是极危险的事。

当时,清华大学生物系有成排的大金鱼缸。每当这些缸给搬走了去清理的时候,年轻的孩子们就趁机来练车。在每两行缸之间有一条砖砌的沟,约有两寸深,六七寸宽。这些小伙子就沿沟行车,大哥花样更多,常把 4 岁的我载在他和把手之间的小座位上行驶。一次不巧运气颇乖,不知怎么回事摔了一大跤,我的左额撞上了沟边,开了一个大口子。大哥赶紧带我先去医院把血止住,伤口钳好。然后带我回家给我吃金钱酥。哄我不要告诉爸爸妈妈。60 多年前的事,我的印象已开始模糊。只记得金钱酥是在不寻常的时候才吃的。那次大哥好像挨了一顿骂。

振宁比我大 8 岁,因为他学力极强,从学龄算来,要长我 10 岁。1938 年,他才 16 岁,念完云南昆明昆华中学高中二年级以后,就以同等学历的资格考进了由北大、清华、南开联合组成的西南联合大学。当年全国参加考试的人有 2 万以上。大哥是榜上第二名。

我们家当时有一面黑板。爸爸和振宁常常在黑板上讨论数学。黑板上画了许多几何图形和好些奇奇怪怪的符号。他们还常提起"香蕉"("相交"是几何名词),和有音乐声调的"钢笛浪滴"

(Comptes Rendus 是一份法国学术杂志)。童年的我,对这些高深的学问就开始有了好奇心。

大哥颇爱唱歌,不论是在校园走路,或者是在家里做功课,总是要大声地唱中国歌、英文歌。他的弟妹们听来听去,把他常唱的歌也全学会了,奇怪的是有几首中国歌除了他和父亲以外,我从来没有听别人唱过或提起。[1]有一次有一个大哥的朋友问一个同学,"你认不认识杨振宁?""杨振宁?杨振宁?哦,是不是就是歌唱得很难听的那个人?"

初中的时候,无聊起来就有时翻开大哥高中时的国文课本,记得在李白的《将进酒》长诗后面有他写的几个字"劝君更尽一杯酒,与尔同销万古愁!绝对!"多年以后我问他怎么会把王维的《渭城曲》的一句和李白的《将进酒》的一句凑在一起,他说那是父亲当年在安徽某小城的一个酒家看到的一副对联。

大哥进了大学以后,开始念古典英文书籍如《悲惨世界》[2],《罗娜东》[3]和《最后的摩西根人》[4]。他常常一面看一面翻译出来讲给弟妹们听。每天讲一小段,像从前中国的说书人一样。我们听得不但津津有味,而且上了瘾,每天吃完晚饭就吵着要他说书,可惜他有一个大毛病,在一本书还没讲完之前,他就已经开始讲第二本书了。这样把四五本书的后半段都悬在半空,把我们吊得好难过。

父、母亲闹意见也时有发生,有一次两人大吵,大哥实在看不过去,就说如此吵法有失体统。父亲听了甚为恼怒,大骂了大哥一顿。当时家里父亲颇具威严,大哥居然敢正面批评父亲,让我很是佩服。

父亲交游颇广,他有很多朋友。记得他有两三个中学同学,经过昆明,父亲请他们到家里吃饭。这几个人又吸烟,又大声咳嗽,又常吐痰,行止颇粗野,大哥看了很不入眼。客人走后振宁就

跟父亲表示对这些人的意见。我的印象是父亲大怒，这是大哥和父亲冲突的又一次。

父亲年轻的时候念书异常认真。他的课外活动也颇多。他会吹箫，学过唱中国戏，会下象棋、围棋。在北京高师念书的时候，还是校网球队队员。他对围棋尤其喜爱，在云南昆明时候，家里有一副“云南扁”棋子。他常常和棋友晚饭后下棋，我就端个小板凳坐在旁边看，大哥和我很自然地都学会了下围棋。

大哥的兴趣比父亲更广。他下军棋、国际象棋、跳棋和日本“将棋”，此外他对数学小问题、逻辑问题、桥牌也很来劲儿。我也跟着他搞。他棋瘾来了我就是他现成的对手。起初我没有一样是他的敌手。当我进初二的时候，渐渐能招架两下子。在他快离开昆明去美国的时候，我已经在西洋跳棋(Checkers)上和他旗鼓相当，偶而还能赢两盘。到美国以后，我们很少住在同一城市。在50年代过年过节还常下西洋象棋和围棋。1962年我去日内瓦前父亲来信叮咛我不要忘记带围棋。我到日内瓦第一天晚上父亲就让我画了一张棋盘。多年没和父亲下棋，他说我们下棋要按照“四番胜约”的规则。一方多赢四盘让子数就增加或减少一子。我们开始第一盘是父亲让我五子，不久后降为四子，继而降成三子，我正在兴高气昂，忽然父亲棋势转劲，让子数由三而四，由四而五。到我们快离开日内瓦时他已让我七子，比我在国内时还多两子。我颇为扫兴，据他说我的棋还是很“屎”。60年代以后，大哥公事转忙，我们就很少下棋了。

大哥书念得很好，他在中学、大学、研究院就已经小有名气。我很清楚地记得是在他离开中国去美留学以前，不少人就觉得他的将来是一定有大成就的，他也颇有自信心和大志。父亲曾经说“振宁是90分以上的学生，振平是80分以上的学生。”现在看来，他对大哥估价太低，而对我估价太高。1945年大哥去芝加哥念

研究院，记得每次家里收到他的信，就有三项事值得高兴的。第一是他的学业进展，第二是他给弟妹的一些有趣的小问题，第三是信封上的美国邮票。他好像是一盏明灯，在遥远的太平洋彼岸发着光彩，给在中国的家人以无限的鼓舞与期望。和他同时从清华留美在芝加哥大学念生物的他的好友凌宁，有一次写信给父亲说："振宁念书是比别人高出一头一肩"[5]。

1948年我来美国进布朗大学（Brown University）读工程，大哥当时刚从芝加哥大学拿到博士学位，留校担任讲师。他月薪才375元，就分给我三分之一，供我每月的宿膳费。他对我的照顾不像是哥哥照顾弟弟而像是父亲对儿子的关怀，这一点米尔斯[6]也跟我提起，说："佛兰克对我就像一个父亲。"

1951年圣诞节我去普林斯顿大哥家度假，他那时刚证明了"杨、李圆圈定理[7]"，我大学尚未毕业，数理基础都不很强，他兴致极高地跟我讲圆圈定理。虽然我完全不懂他说什么，可是他的极端的兴奋给了我一个不可磨灭的印象。

他说他在这个问题上苦思良久没有结果，曾经去问过普林斯顿高等学术研究所名数学家纽曼[8]教授。纽曼亦不知如何措手。六星期以后，他终于解决了困难，得到了全部证明。他还说："这恐怕将是我一生中能证的最美的定理。"多年以后，我提起他的这句话，他已经完全不记得了，可能是因为他作了更重要更美的工作。

1957年大哥和李政道获诺贝尔奖，斯坦伯格[9]曾告诉我说当他和振宁在芝加哥大学同时是研究生的时候，振宁的学识就已经和教授差不多了。我在1957年也转学物理。几年之后，看懂了杨李"圆圈定理"才知道其中奥妙，也同时感觉到这个定理不是我的能力能证明的。1965年我和振宁同做研究工作，发现了他的三个特点：第一是当碰上了麻烦的问题，他会想出种种方法去

对付。一天之内他就能从四五个不同的出发点去探讨。我呢，常常是两三天还不一定能看出一个新的苗头。他问题一抓到手就随时在想，不断地去揣摩。有一次他和记者谈话，曾说不少他的有趣的想法是在刷牙时候冒出来的。有一个牙膏公司甚至问大哥是否可以把这个刷牙和思考的关系用在广告上。他对物理有不寻常的第一感，这当然和他的天赋有关。可是他的日积月累地对种种物理问题、数学问题和其他对他发生兴趣的别的方向上的问题的考虑，使他的经验变得既深又广。这与他的思想的灵活和考虑问题的周到是有一定的连带关系的。

第二是他的数学方面的知识颇广，而且如果在物理问题上需要的话，他会很愿意很快地去学新的数学，这使得他对已经变成数学问题的物理问题有很强的推动力。

第三是他选择问题和研究方法，常常是具有“美”[10]的色彩。他一生中最重要的工作是在“规范场”方面。这是和极美的数学“微分几何”和“群论”连在一起的。

父亲一生光明磊落，待人极为厚道，有很深的民族感，常常跟我们讲中国历史。我没进中学就对中国历史的悠远和历史上重要人物有了许多认识。他觉得对国文的背诵很重要，直到现在我还能背好几首诗和词。

1960 年和 1962 年他和母亲去日内瓦跟大哥一家和我团聚。这是父亲和振宁在大哥出国以后的第二、第三次见面，第一次是在 1957 年，父亲只身带病去日内瓦和大哥、大嫂及光诺见面。这几次团聚，父亲把新中国的情形详细地介绍给大哥，这给大哥对新中国的印象起了决定性的作用。当时中国科学需要人才，父亲希望能争取已经在物理学界成名的大哥回中国。大哥虽然非常愿意替中国服务，可是觉得中国当时的情况不利于他的个人的学术进展。回去之后，科研工作很可能有停滞的现象。他才 40 岁，

如果继续在美国作研究，将来对中国的作用和增进中美科学界的关系恐怕会更有效果。父亲对儿子的看法也觉得有些道理。因此他心理上有点矛盾。他和大哥曾经有多次辩论。终于父亲没能说服振宁。

从三十几年以后的今天看来，大哥的看法是完全对的。杨一巴克斯特方程，和他跟吴大峻作的规范场和纤维丛的关系的工作都是60年代和70年代的研究成果。这两项工作不但使他成为当前物理学界泰斗，而且推动了许多数学方面的有趣发展。父亲如果还在世的话，一定会感到非常的兴奋与骄傲。70年代以后振宁的知名度在世界数理学界大增，他在香港替中国大专学校募捐资金，为中国学者创造在美国作研究机会，又在物理杂志上撰文为前一辈的中国物理学者的工作给于公平的评价，使他们的贡献让物理学界有正确的认识，这些活动都有显著的成就。总而言之，他给炎黄子孙带来了荣耀与光彩，替中国学界作了颇多的事，同时在数学物理的领域里创造了不朽的工作。

这就是我的大哥，可是他不只是我和我的弟妹的大哥，他也是我们民族同胞的大哥！

注：

① 举例说，有首歌名《燕》，“燕、燕、燕，别来又一年，飞来飞去……”还有一首歌名为《中国男儿》，“中国男儿，中国男儿，要将只手撑天空……”

② Les Miserable，是法国大文豪的名著。

③ Lorna Doone.

④ The last of the Mohicans，是美国作家的作品。

⑤ “Head and shoulders above the others.”

⑥ 米尔斯(Robert Le Mills)是“杨—米尔斯场”的另一作者，他曾说：“Frank was like a father to me”佛兰克是大哥取的英文名，这是他读过美国开国元勋佛兰克林传之后慕其人而因其名。

⑦ C. N. Yang, Selected Papers(Freeman Co. 1983)P14.

⑧ John Von Neumann 是计算机鼻祖，普林斯顿 50 年代的计算机即名为“Johniac”。

⑨ Jack Steinberger，1988 年获诺贝尔奖。

⑩ 美、英文是“elegance”。

（本文作者杨振平，是杨振宁教授的二弟，美国约翰·霍普金斯大学博士，现任美国俄亥俄州立大学物理系教授。本文原载《杨振宁传》第五版，复旦大学出版社，1997 年。）

家 家教 教育

杨振汉

从我略懂人事时始，就感到我身处一个十分美好的家庭之中。父亲是一家之主，他和母亲共同缔造、共同创建这个美好的家庭。

刚过不惑之年的父亲，遭遇“七七”事变，在北平清华园内，深感日本侵华战争已一触即发，于是毅然决定将已怀孕的母亲和四个子女，尽快送回安徽合肥父亲和母亲老家，在那里有父亲的弟弟和其他亲友可以照顾我们。父亲则只身到湖南长沙，同清华大学、北京大学和天津南开大学的同仁们一起，组建临时大学，开展招生和教学活动。

上海“八一三”战事后，江苏南部已成前线，日本飞机不时空袭合肥。父亲在长沙，既忧心国难当头，同胞们还不能团结救亡，又忧心家眷和亲友在合肥，恐遭不幸，所以日夜思念。后来，父亲的学生朱德祥[①]先生说：“老师在长沙，多次同我们讨论日本和德国法西斯政权侵略成性，中国摆脱帝制不久，国势不强，人民受教育水平低，在日本侵略者面前要吃大亏。”

“老师还担心师母带着五位幼小弟妹留在合肥，师母又是缠足，若有闪失，老师必将抱恨终生，老师日夜思念，几星期后，前额头发就一片斑白了。”

朱德祥先生还说：“我们都劝老师赶快请假赶回合肥，将家眷

接来长沙。老师考虑临时大学刚成立，教学研究工作很紧张，一直不肯请假，拖到快放寒假时才走。”

父亲自长沙回到安徽，接了我们，经武汉、广州、香港、越南到了云南昆明。那时已是1938年3月。我们在昆明渡过了八年抗日战争时期，那时的昆明物质条件极差，父亲的工资因为通货急遽膨胀，实际收入大概只及战前的几十分之一，生活十分艰苦。在这些艰苦的岁月里，父亲母亲十分注意我们兄妹五人的身体成长和家庭教育，很有限的收入，都用在我们子女身上，希望我们能获得起码的营养，能健康成长，还为我们买些书本和文具。母亲持家有方，她的全部身心都奉献给这个家，奉献给我们五名子女。她日夜操劳，从无节假日，开门七件事加上买菜、烧饭、洗碗全亲自动手。抗战八年我们兄妹几人几乎很少买衣服、买鞋袜，这些都是母亲自己动手缝制或改制。母亲还特别爱清洁、爱整齐，衣服每天洗，到了深夜，就为我们补衣服，钉钮扣，家里一切东西都安排得井井有条。

虽然物质生活十分艰苦，但父亲母亲带给我们全家不怕艰苦、努力读书、正直做人，保持气概的精神。父亲一有空，就讲给我们听他9岁丧母，12岁丧父，家境十分艰难，寄于亲戚篱下，阅尽人间冷暖，从而发奋读书，坚持不与纨绔子弟和不求上进者为伍的经验。当时正值清末民初，西方文化教育还只到上海、天津、北京等大城市。父亲在合肥中学毕业后曾有兴趣学京剧，并且已经去找京剧老师了，后见京剧流派甚多，未有关系，势难有成就。有亲戚劝说父亲参军习武，父亲只身去武昌军校受训，又见军队腐败盛行，只得下决心去北平报考北京高等师范学校，即现今的北京师范大学。那时北平已有北京大学、辅仁大学、清华学堂等，由于只有高等师范学校既免学费，又可申请到助学金，对于家境贫寒的父亲，确是唯一受大学教育的机会、所以父亲在北京高师

接受了西方式的大学教育。

在昆明时，除物质生活极差外，还要躲避日本飞机骚扰轰炸。1940年秋，我家租住的房子，中了一颗炸弹，毁坏了家具和物品，这是日本侵略中国以来，我家财产的第二次损失。面对这些，父亲安慰母亲说："留得青山在，不怕无柴烧。"只要父亲母亲身体好，儿女们都健康成长，再熬几年，我们家必有出头之日。

1938年我们全家到昆明时，昆明的中小学很少，大哥念了几个月昆华中学高中二年级，就以同等学历考取由清华、北大、南开三所大学组成的西南联合大学。当时五弟振复尚不足岁，振平、振汉、振玉三人实际上失学。父亲怕我们三人荒废学业太久，就自己担任家庭教师，一有空闲，先教振平和我念中国古文和白话文、父亲在青少年时代曾发奋读书，他的中国古文、白话文和中国历史等都有相当造诣。父亲教我们念唐诗和宋词，像杜甫的《兵车行》和白居易《忆江南》，我现在还可以背诵。父亲曾告诉我们说："近代的数学物理化学等课目，到念中学时再读都不迟，可是中国语文，中国古文一定要从小就学，从小就背诵几篇精彩的白话文，精彩的古文，背诵几首诗、词、歌、赋等，将来一生都有好处。"

1940年秋，在昆明为了躲避日本飞机轰炸，我们家同许多的西南联大的教授们一样，都搬离了昆明城，到农村租农民的房子居住。我们家住在昆明西郊外十多公里处的龙院村。这里已差不多是穷乡僻壤，只有几户地主家有电灯照明，一切现代化的东西龙院村都没有，没有铁路、公路，没有煤气、自来水，没有电话、邮局，没有水泥，极少物品是用钢、铝做的。父亲怕我们离近代社会太远，常从大学图书馆借画报和书籍回来给我们翻看，我记得清楚的有《伦敦新闻画报》和《世界数学名人传》，父亲空闲时还向我们介绍他去美国芝加哥念书的经过。

父亲在北京高等师范毕业后，回到合肥和安庆教了几年中学，决定到外国去闯一闯。他于1923年考取安徽省官费留学美国，先在美国西部的斯坦福大学学了一年，再到美国中部的芝加哥大学，获得硕士和博士学位。当时中国政府和安徽省政府都腐败，父亲在美国读书的官费常常没有着落，不得已父亲只能打工筹集学费和生活费，又一次尝到人间炎凉。社会的不公平和美国的种族歧视更加深了他的爱国主义情怀。对比美国社会和中国社会，父亲决定一生贡献给中国的教育事业，以期唤起民众，教育民众，建立富强昌盛之中国，永不受外国人欺侮。父亲1928年回国后即全心投入教育事业，先在厦门大学任教一年，后即转入北平清华大学任数学系教授。

多年以后，我才了解到父亲是中国派出去欧美日学习数学而极早得到博士学位的，也是最早将西方近代数学引入中国的先驱者之一。30年代的清华大学和40年代的西南联合大学，数学方面造就了中国第一批世界级的数学家，佼佼者如华罗庚和陈省身，这是父亲和他的同事们引以自豪的。

1941年抗日战争进入最艰苦的时期，日本侵略军从缅甸、广西、湖南几个方向进攻四川和云南，昆明的形势又一度紧张起来，我听到父亲和母亲谈到西南联合大学有迁西康(即现在的四川康定)之议。到了1941年夏，德国开始进攻苏联，到了12月，日本偷袭美国的珍珠港，第二次世界大战全面爆发。这时父亲预测抗日战争最困难的时期即将过去，常同他的同事、学生和朋友们讨论天下大事，父亲鼓励每个人都应坚定信心，迎接抗日战争和反法西斯战争最后胜利。此后，美国加入太平洋战场对日作战，美国航空队来到中国，日本飞机轰炸昆明的次数大大减少，1943年我们家从龙院村搬回城里，振平、振汉进入联大附中，振玉、振复进联大附小念书，这时大哥已自西南联大物理系毕业，进清华大

学研究院读硕士。1944年父亲到联大附中兼课，教六年级数学，他常应邀在联大附中演讲，讲国际形势和国内形势，鼓励学生们树立抗战必胜信念，鼓励学生们学好科学技术和文化，战后为复兴中国而努力。

1945年春，大哥获取了留美公费，将离家赴美国读博士。父亲高兴地告诉我们，艰苦和漫长的抗日战争看来即将过去，反德国法西斯战争也将结束。我家经受了战乱的洗礼，虽有精神和物质损失，但是我们家七口人都身体健康、学业有进，更可喜的是儿女们都孝顺父母，兄弟姐妹之间和睦相处，亲情常在，我们一家人相互之间的关系，的确非比寻常，这是我们每个人都十分珍惜的。

抗战胜利至今已51年了，父亲、母亲和振复均已长眠于苏州东山。回忆抗战八年的艰苦岁月，我们家真可称得上美好、和睦和亲情永驻的家。

也许是因为环境实在艰苦、精神负担又重，父亲在1946年春得病，没有能跟上西南联合大学同仁们迁回北平和天津的举动。父亲病愈后暂时在昆明师范学院任数学系主任一年，并打算在休假几个月后返回北平清华大学任教。1948年夏，父亲在上海送走振平和邓稼先同船去美国念书，即回到北平清华大学。到了1948年年底东北的辽沈战役结束，平津战役和淮海战役正在积极酝酿之中，父亲预想到北平解放恐已不会很久，而全国解放、昆明解放则不能估计还要多长时间，这时母亲和振汉、振玉、振复都还留在昆明，于是在12月21日乘飞机离开北平，经上海回到昆明，住了一个多月，于1949年3月初携同母亲和我们三人一起飞到上海，等待上海解放后回北平清华大学。

父亲1946年两次重病虽愈，但他自感精力已大不如前，那时父亲刚满50岁，父亲说："我已经不能像老将黄忠一样上马提刀，转战沙场了。我的脑力和体力已不允许我再搞数学研究，后半生

我只能从事教育，也许能再培养一位世界级的数学家。学校行政工作我也不会再担任了。"对于教育，父亲说首要的是知人，也就是除了当伯乐外，更多的时间是认识每一位学生的长处和短处，充分让每一位学生发挥他的长处，避开他的短处，这就是扬长避短，应当相信每位学生都可能有些小成就的。若能遇到禀性异常的学生，更应当循循善诱，循序渐进，让学生的功课基础扎实，这才有成大器之可能。除了教学生基础知识和专业知识外，还应教学生注意思想方法、学习方法，教学生品德和道德修养。

我们五个人，在上海迎来解放，那是 1949 年 5 月，到了 7 月，父亲非常失望地知道清华大学不再续聘父亲为教授。这时父亲转入上海同济大学和上海大同大学任数学系教授，着手培养新中国第一代数学人才。父亲说到他这一生适逢三个时代，再加上在美国留学和德国访问的 6 年，对比是十分强烈。父亲青少年时期，在大清帝国统治下生活了 15 年，中华民国时代，父亲生活了 38 年，其中有 6 年在美国和德国，8 年是抗日战争时期，再就是中华人民共和国时代，那时刚刚开始。父亲说大清帝国到 19 世纪已经十分腐败，把中国搞到民穷财尽，差不多沦为殖民地，中国人沦为世界上最低等人民。而民国初期，军阀混战，几省独立为政，中国已国不像国，民不聊生，盗贼蜂起，哀鸿遍野，最后引致日本入侵，给中华民族带来大灾难。中华人民共和国是真正解放了的中国，中国人民站起来了，外国人不敢疯狂欺侮中国人了。

1952 年，我从大学毕业了，母亲盼望我能留在上海，母亲说："我大儿子 1945 年去美国，二儿子 1948 年也去美国了，三儿子为什么不能留在上海？养儿防老么！"父亲劝母亲说："男儿志在四方，三儿子是国家的人才，应该到国家最需要的地方去。"我带着父亲的鼓励和母亲的爱心，到北京去参加中国的第一个五年建设计划。

之后几年，父亲写给我许多信，除鼓励我继续努力外，较多地论及他自己思想的转变。当父亲得知我在3年多时间里去过中国北方许多城市，很高兴地引用清华大学校歌中“自强不息”四个字勉励我，还引用老话“学如逆水行舟，不进则退；心似平原走马，易放难收。”父亲还告诉我古代哲人、诗人、画家和政治家都有周游列国，遍访名山大川之举。还鼓励我在有机会时到外国去，特别是北美、西欧去看看，对比对比。父亲还强调，一定要认清潮流，跟上潮流，努力走在潮流之前。父亲说他在青年时代，正值清末民初，西方哲学思想，科学技术和社会科会思想一齐涌入中国。他说他认清这一潮流，奋发读科学书籍，到美国去学习西方的近代数学。他说他当时以为科学可以救国，也以为教育可以救国，但解放后才逐渐了解到，只有推翻旧政权，赶走殖民主义者和外国势力，铲除军阀，消灭割据局面，消除贪官污吏，中国人才能最终站起来，中国才能同世界其他国家平起平坐而不再被外国人欺侮。到这时，科学和教育才能真正地帮助中国人，找到更好的未来。

父亲要求我看清当前的潮流，说：“解放了的中国前途无量，当前最要紧的是建设，要把中国建设成富强的国家。”要我努力读书，学好技术，积极工作，争取做共青团员，也争取做共产党员。父亲说中国人中的一些精英，已加入共产党，经过几十年艰苦奋斗，前仆后继，不怕牺牲，才取得1949年的胜利，像这样努力下去，再有三五十年中国会同美国、苏联一般强大。

1952年夏，全国大学进行院系调整，要中国的大学放弃英美式的教学制度和教学方法，全部采用苏联大学设置的模式，综合性大学改成专业性大学或学院。同济大学将改成以建筑为主的专科大学，而复旦大学改成文科和理科的专科大学，这样父亲将自同济大学转入复旦大学任教，大同大学则撤消。父亲以很高的

热情参加这次教学改革，父亲会英语和德语，不会俄语，但父亲仍以56岁高龄继续学习俄语，父亲说："我不求会很快学会讲俄语和听俄语，但我会很快地学会看俄文数学书。"几个月后父亲便可以阅读了。父亲根据苏联教材，编写适合中国学生学习的代数和数论教材。

1956年，大哥在美国同李政道一起发表一篇物理论文，1957年底获1957年诺贝尔物理奖。这件事极大地震动了中国人，因为中国人或中国血统的人还从来没有获得过这种世界性的崇高的荣誉。外国人固然看不大起中国人，中国人自己也有很深的自卑感，自认为中国人在政治上、经济上、科学上、技术上、哲学上等等都很不行。即使解放了的中国，政治上是站起来了，经济、科学、技术还相当落后。这次杨振宁、李政道同获诺贝尔奖，证明中国人是有智慧、有能力攀登科学高峰的。父亲多次告诉我们，不要小看中国人在世界上第一次获得诺贝尔奖的深远意义，还说这件事至少使一部分中国人，特别是知识界，打掉了自卑感，从心理上敢于同西方人一争短长了。

1954年冬，父亲第二次重病住院。上次重病是1946年，得的是伤寒病，并且复发两次，这次得的病是抗药性糖尿病，父亲先住在华山医院，后搬去华东医院治疗。复旦大学和上海市政府都非常重视父亲疾病的治疗，多次从上海有名的医院聘请医学专家来会诊，结果在1955年夏控制住病情，之后便送父亲去无锡太湖疗养院，但父亲身体一直虚弱，再没有恢复到这次生病前的健康水平，也再不能去复旦大学登台上课或带研究生了，大哥获得诺贝尔奖的消息传来时，父亲住在华东医院。

1957年春，大哥将去瑞士讲学，写信来建议父亲母亲到日内瓦见面，父亲即亲笔写信给周总理，请求能去瑞士同大哥见面，并打算乘此机会说服大哥，要他不去台湾，最好回到中国大陆来；结

果很快得到周总理批准，于5月份只身起程，在北京停留数周，于6月中到日内瓦，一直住到8月底才返回上海。

父亲从日内瓦回来后告诉我们，大哥和李政道于1957年初名扬世界以后，台湾即不断地派人去拉拢他们，希望他们能回台湾工作，或至少是去台湾讲学，父亲说，他告诫大哥和李政道，即使因为种种原因，目前不能回到中国大陆，但绝对不能去台湾。当前的形势将是中国大陆会一天天强盛起来，台湾会慢慢萎缩下去，这就是当今潮流。父亲还告诉我们，在美国的中国人都对解放了的中国很不了解，他们心目中的中国，都大体上停留在1949年前的水平上，当时是内战、通货膨胀、贪污、贫穷等。看来同大哥、李政道他们多接触、多见面，会有用处。

1960年春，父亲偕同母亲一起自上海来到北京，住了几个星期，再次经苏联、捷克到日内瓦同大哥见面，这次二哥振平也自美国赶来同父母小聚。当时中国正处在“大跃进、大炼钢铁、人民公社化”等的高潮中，全国的经济和政治秩序，受到一定程度的干扰，父亲从日内瓦回国后告诉我们：“我现在很矛盾，国内各方面有些失序，我怎能劝说振宁回国来呢？他回国来怎么还能继续做研究？但是他老是留在美国，美国政府又老是以中国为敌，我们又都在国内，常此以往，如何是好？而且，我写信给周总理时，曾写过我要介绍新中国的情形给振宁，希望他们毅然回国，可现在中国的研究环境比美国差太多，生活环境也不行，我很难启齿。”

母亲则从近三四年的实际出发，说到上海社会生活同四年前相比的差距给大哥听，父亲听到母亲的介绍，回上海后告诉我们：“我听了你母亲介绍上海的社会生活给你大哥听，我非常矛盾，一来你母亲接触的是实际生活，她说的都是事实，但你母亲没有从长远看问题，二来可惜的是我不能把我对中国前途的预测完整地说给振宁，并且说服他同我的看法一致。”父亲还说到母亲介绍的

上海的情况，大哥一听就会觉得一定是真的，父亲说想从长远的眼光看当前的形势，但恐怕没有什么说服力。

1962年夏父亲第三次、母亲第二次去日内瓦，这时中国国内遭遇自然灾害，粮食、食品、日用品、衣物等都奇缺，市场萧条，对比当时的日内瓦市场，真是差别太大了。父亲回国后说："你母亲反对你大哥二哥他们回到中国来，说回来不但得不到诺贝尔奖，而且还会受到冲击，我心里想你母亲说的是对的，但我没有直接说出来，我写信给周总理时，说到一是劝你大哥他们一定不能去台湾，这一点看来可以做到，二是劝你大哥他们在时机成熟时回国来，现在看只能说是时机不成熟吧，这一点恐怕是做不到了，我觉得内疚。"还说："中国经济不发展，人们靠发粮票、肉票、布票过日子无论如何不行，民生凋敝，搞得不好社会会动乱，现在谈科学研究、谈教育、谈技术都是没有用处的。当然中国历史上像这样的情形恐怕有许多次，唯一希望是早一些过去，让民生有复苏的机会，中国社会的再生能力很强。"

1964年底，大哥到香港讲学，父亲、母亲、振汉和振玉四人到香港同大哥见面。这是1945年大哥离开中国后第一次见到振汉和振玉。在分开的19年间，中国经历了许多变化，先是1945年日本投降，二次大战结束，接着1946年到1949年间解放战争，1949年成立中华人民共和国，1950年起抗美援朝战争，1952年起中国历次政治运动：镇反、肃反、公私合营到大跃进、人民公社，再就是自然灾害。父亲后来对我们说："这19年间吾家七人分在大洋两岸，我两次大病竟能化险为夷，在国内经历多次变动，但我们都安然无恙，振宁获诺贝尔奖，振宁、振平、振汉、振玉都已成家，我们有了孙儿孙女，上苍待吾家不薄，我深信我们全家必有后福！"

1964年后，中国相继研制成功并爆炸了原子弹和氢弹，还发

射了导弹和人造卫星，这些成就，父亲都受到极大鼓舞。父亲告诉我说："中国是世界四大文明古国之一，盛唐时期，中国在国际上曾非常强盛，可惜在明朝以后，发展几乎停顿，远远落在欧洲和北美洲那些后起的国家的后面。清朝和中华民国时代，中国是东亚病夫，贫穷、愚昧、落后，到处受外国人欺侮。1949年新中国成立，中国真的站起来了。你大哥和李政道在美国获得诺贝尔奖，说明海外的中国人也站起来了，中国有原子弹、有氢弹、放导弹、放卫星，这意义实在太大了。世界上的人都看到，中国已经摆脱了近几百年的沉睡、落后和挨打的状态，中国人觉醒了，站立于世界民族之林。"

文化大革命开始了。父亲有一次对我说："没有法子理解发生了什么事？社会法治受到破坏，人身毫无保障，人和人之间相互攻击，维系社会安定的道德、伦理、修养等全都被抛弃，这样下去，整整一代人都给带坏了。我想当前最要紧的是要讲诚实，不能在外面错误的压力下讲违心的话。"到1968年，搞清理阶级队伍，几乎每天都有人到我家来找父亲，说要调查父亲的同学、朋友、远亲、近邻的历史问题和当前表现，父亲均一一回忆，毕恭毕敬地写成书面材料，签上名字，交给来人。父亲说："我为我的朋友负责，我为组织负责，我写的都是事实，没有半点虚假。"

记得在1949年我们即将离开昆明时，父亲有一位云南籍的老朋友，颇有积蓄，送了一笔钱给父亲，到了50年代，这位老朋友遭遇不幸，急需钱财救济，当时我家也有困难，父亲毅然拿出自己微薄的积蓄，再找朋友亲戚借了些钱，全数寄返云南，以解老友之危，父亲的为人即如此。

父亲在"文革"高潮时曾对我说：

"我教书一生，清白一世，除因脑力体力欠佳，不能多做研究外，我一生无愧于祖先，无愧于后代，我培育了中国新一代的数学

人才，我的子女都大学毕业，你大哥还得到诺贝尔奖，你们都在国家的重要岗位上努力。我也无愧于社会，无愧于中国人民。我不是落后于时代的人，我曾将近世代数和数论引入中国，我也曾将西方现代的教学方法引入中国。"

"1949年解放后，我虽然不能回清华，但我继续在同济、大同和复旦大学教书。1952年开始学苏联，我的俄文水平不高，但数学本身是没有国界的，俄国数学家是世界级的，可是苏联的教学方法不见得好，我总认为我的教学方法不比苏联差。"

"1949年以后，中国进入一个新时期，我已经年纪大了，旧社会的观念多，不能转变得太快。你正当大学毕业，遇上中国第一个五年计划，十多年来你工作还相当努力，得到组织信任，现在工厂担任要职，一定要兢兢业业、勤奋工作、勇往直前。毛主席在莫斯科说过，世界是你们的，也是我们的，但归根结底是你们的。这话不错。我身体不行了，想教书、带研究生，但心有余而力不足，只有看你们，看这个社会，看这个国家蒸蒸日上。"

"文化大革命这么乱，不知道革什么命？但应当相信这种情况会过去的！中国社会几千年来由治变乱，又由乱变治，古话说分久必合，合久必分，这恐怕是真理，至少是几千年来社会就是这么发展过来的！"

"文化大革命三年了，我同朋友们都不来往，知识分子朋友不来往，老干部朋友也不来往，在街上碰面，只互相打声招呼，道一声保重，就分道走开。这样的情况怎么可能长久？但是越这样乱下去，想恢复到有秩序就越困难，恢复的时间会越长。"

三年来父亲真是寂寞，报纸上很少有新闻，差不多所有书籍都暂停出版，杂志也销声匿迹，只有造反派印的小报，写的大字报满街流传。外国的所有消息都听不到。父亲评论说："小报和大字报不必看，因为他们全不负责任，真真假假无从判断。"父亲爱

国爱民之心随时表露。

1969年秋，毛主席邀请美国记者埃得加·斯诺(Edgar Snow)夫妇上天安门检阅，父亲听到这个消息，精神大振。

1970年夏，忽然收到大哥自美国寄来一封信。这是1966年"文革"以来第一次收到从美国寄来的信。解放后，到"文革"之前上海市和美国之间的通信和通话，其实从来没有间断过，就在抗美援朝的两年多时间里，通信还是通畅的，只不过信件在途中要走一个多月。至于长途电话，从美国打进上海，好象从来没有停止过，不过不允许从上海打往美国。"文革"中在不能同大哥互通音讯的三年多时间里，大哥只能通过在日内瓦一个存折里，看到父亲取钱时签下的刚劲有力的字，才知道父亲健在上海。这是大哥三年多内唯一的"家信"。其实自1966年10月，父亲的工资被复旦大学造反派封住无法取出，当时我们家的开支只靠我一个人在上海柴油机厂工作的微薄的工资，根本入不敷出，何况五弟[2]振复生病住院。父亲隔一个月或两三个月通过中国银行上海分行，开支票从瑞士支取一些钱回来贴补家用。1970年夏大哥的来信说，他将于是年12月到香港中文大学讲演，渴望能在香港见到父亲母亲和弟妹，重温1964年在香港聚会的美好日子。

当时我们都很兴奋，经过四年多"文革"的混乱后，国内的无政府状态略有改变。父亲同我和振玉商量如何申请再去香港。此后两个月，父亲奔波于复旦大学、市革命委员会和公安局之间，送去的申请报告仿佛石沉大海。

也许是因为父亲十几年糖尿病引起神经系统病变，也许是因为这两个月来多次奔走而过度疲劳，就在我们申请去香港得到批准后不久，父亲即病重住进华山医院，父亲自述病情是："双膝发软，无法站立，不能行走。"

经过我们同医生商量几次，看来父亲的病情已无法让他远

行，只得决定由振玉陪同父亲，我则陪母亲去香港同大哥见面。我们和大哥仍住在1964年我们共同住过的百乐酒店，不久振平也自美国飞来团聚，春节时我们兄弟三人陪同母亲在香港过节，我同振平已分开22年！

我们在香港得知父亲病情有好转，都万分高兴。大哥更是乐观，因为上台不久的尼克松总统已开始调整美国对中国的政策，消息显示美国想结束对中国的隔离和围堵政策，同时毛主席接见美国人埃德加·斯诺，又邀美国乒乓球队到北京访问，好像中国也在调整对美国的政策。而且中国的文化大革命已近结束，中国国内有恢复秩序的迹象。大哥盼望中美关系改善，他有机会回到他的出生地、那阔别已经26年的中国大陆看看，还极盼能到上海探望已病在医院的父亲。

母亲和我回到上海，见到父亲病情确有好转，比入医院时好得多，但是似乎已经不能站立。父亲这时对中美关系在逐步转好相当乐观，父亲又议论说："1950年开始抗美援朝，中国开始批判'崇美、恐美、亲美的情绪'，我当时就思想不通，但不能讲。1952年起中国开始'亲苏，一切以俄为师'，我思想也不通，苏联和俄国人好在那里？记得我的老友郑桐荪[3]先生说过，俄国人、德国人和日本人这三个民族，从历史上看有入侵外国的很坏的记录和屠杀其他民族的劣迹。1950年以后中国不顾一切地倒向苏联，现在看到问题所在了。"

1971年6月，中美关系有解冻的迹象，大哥率先取道法国来到上海。大哥回国探望，给父亲极大安慰，他有了却一桩心愿、实现自己诺言的心情。早在1957年父亲写信给周总理，并被批准去日内瓦时开始，他就有一个心愿，也定了下一个诺言——争取他的大儿子回国，现在终于实现了。5月间大哥来电报说他将于6月底来到上海时，父亲在病榻上说："我们家的家风：一生为人

清白。我们家的家教：你母亲勤俭持家、一生奉献给丈夫和子女。你大哥在清华园所受的教育、在北平崇德中学念书、在西南联大念书、还有你们四位弟妹、还有你大哥的同学和朋友很多都在国内，凡此种种，都是你大哥一定会克服障碍回国探望的基础。”

1972年大哥第二次回国探望。大哥1971年探望中国，回美国后在美国好几个城市做访问中国的报告，帮助美国社会逐渐形成中国热，一批美籍华人，都是父亲的老朋友、老同事纷纷于1972年携带家眷回国探望，也都到华山医院探望父亲。父亲当时既兴奋又感慨，父亲说：“我遗憾的是我的身体不行了，否则我将同你大哥一起去北京见周总理，我将当面谢谢周总理批准我去日内瓦，我将当面谢谢周总理关怀我的病情。我76岁了，还能碰上中美关系改善，碰上中国的春天，中国的科学和教育事业的春天，不能不说也是幸福。如果我身体好，我还能为中国的科学和教育事业做一些贡献，我有朋友、同事和学生在海外，有的在台湾，我会请他们回大陆看看。”

1972年冬，父亲感冒以后神志不清最后转为昏迷，就再也没有清醒过来，直到他于1973年5月去世，时年77岁。

注：

① 朱德祥，南通人，清华大学数学系毕业，1940年起任教于西南联合大学、云南大学和昆明师范学院，是云南省政协委员，1994年去世。

② 振复，1937年出生于合肥，1955年上海中学生数学比赛名列前茅，1956年考取北京大学数学力学系，1959年因病退学回上海，在上海复旦大学再读了一学期后辍学，以后一直在家养病，1985年去世。

③ 郑桐荪，苏州人，清华大学数学系教授，是陈省身先生的岳父。1957年在北京去世。

（本文作者杨振汉，是杨振宁教授的三弟，毕业于上海交通大学，曾任上

海柴油机厂副厂长兼总工程师、上海市政府对外经济贸易委员会常务副主任、香港新华分社所属东南经济信息中心副董事长兼总经理，现为香港杨谭有限公司董事长。本文原载《杨振宁传》第五版，复旦大学出版社，1997年。）

父亲、大哥和我们

杨振玉

父亲幼年时家境清寒，生活困苦，祖父（杨邦盛）虽在外省任职，但生活飘泊不定，祖母患肺病卧床不起。在这样的环境下，父亲少年时就努力读书，照顾重病的母亲，爱护和帮助唯一的弟弟杨力瑳，父亲告诉我们，祖母省下买药治病的铜板，让父亲和力瑳买早点吃后去读书，父亲就把本可以买两个小烧饼的铜板全都给了弟弟，让他可以买一个大烧饼充饥。冬天合肥的儿童都穿两层棉袍，大棉袍较长穿在外面，二棉袍较短，穿在里面。可叔叔的棉袍子是别人施舍的，二棉袍长出大棉袍之外，惹来家境好的同学的嘲笑和欺侮，为此父亲曾和这些同学打了几架，教训他们不可依仗有钱就欺侮人。父亲不能忘记当时当祖母病危时以仅有的一些铜板买了一帖中药，煎成汤药之后不幸药罐落地的事，当时祖母惶恐地说这表示她的日子已经到头了。

1905 年祖母病逝，三年后祖父也在外省病故，那时父亲才 12 岁。父亲的叔叔杨邦瑞语重心长地告诉父亲今后他是无依无靠，应好自为之。少年的杨武之牢牢地记住他叔叔的话。1915 年父亲考入北京高等师范大学。在校时他读书认真，成绩斐然。国文、英文、数学都名列前茅，他的古文和中国历史的修养，英文和数学的底子就是这时打下来的。每天课后他都要踢足球直到汗流浃背，晚饭之后则十分专心地上晚自修。青年时期的杨武之，

学业上进，体魄健全，兴趣广泛，除踢足球之外，他还打篮球、唱京戏、下围棋（围棋是父亲一生的爱好，50年代父亲还曾得过上海市高等院校围棋比赛优胜奖）。

1923年父亲考取安徽省官费留学美国，在斯坦福大学获数学学士学位，1928年获芝加哥大学数学系哲学博士学位。父亲为人正直、诚实、忠厚无私。吴有训先生是他芝加哥大学时的室友。吴先生曾说过杨武之具有磁铁一样吸引人的性格。

父亲和母亲是自幼订亲的旧式婚姻。父亲虽然留过洋且有博士学位，但他和文化程度只有初小且缠过足的母亲之间终生都是相亲相敬的。父亲留学美国时，母亲带一岁的振宁在家乡合肥，亲友中有人对母亲说现在的留学生回国之后会抛弃旧式的妻子另娶新式的女学生，母亲惶惑之余下定决心，万一父亲真是这样，她将自己一个人扶养振宁成人。父亲自美返回上海之前，即电报母亲要她带振宁去上海相聚。母亲告诉我们说那时她真是喜出望外，眼泪盈眶。

1928年父亲受聘为厦门大学数学系教授。1929年秋改任清华大学数学系教授。全家迁往北平，住清华园西院19号（后来于新建新西院时门牌改为11号）。振平、振汉和我相继在清华园出世。1933年秋大哥在清华园念完成志小学，进入北平城内的崇德中学。他成绩优异，课外还参加演讲比赛并获得好几个银盾。父亲于1934年秋休假去德国柏林大学研究数学一年。大哥每周替母亲写信寄往柏林，报告母亲和弟妹们的一切情形。信上还时常和父亲讨论代数或几何题目可以有多种解法的心得。父亲感到欣慰的是从振宁的信中他能及时得知妻子和孩子们的近况。他更感到振宁聪慧，纯正，数学方面能举一反三，触类旁通，“似有异禀”。

1937年抗日战争爆发，父母亲、大哥和我们不得不离开清

华，开始了颠沛流离的长途奔波，终于在1938年初到达昆明。父亲即任由清华、北大、南开三所大学合并成立的西南联合大学数学系主任。抗战时的昆明生活十分艰苦，但教授认真教书，学生刻苦勤奋。抗战八年西南联大造就了一大批以后成为中国科技界栋梁的人才。我们在这样的环境里，在父亲和大哥的直接影响下成长起来。父亲为联大数学系的教学和各种系务操劳，年过四十已是头发斑白。他总是抽出时间和我们在一起。从我们六七岁开始，父亲在家里设下一块小黑板，进行家庭教学。这小黑板直到我们大学毕业都还摆在家中。他在黑板上教过我们语文、算术。随着我们学历的增长又教过我们英语、诗、词、三角、代数、几何、微积分等等。他还教我们念古文观止、讲历史名人故事如岳飞、文天祥等。父亲让大哥从西南联大图书馆借来英文的《Men of Mathematics》(数学名人传)，由他和大哥分章分节讲给我们听。因此从小我们都知道笛卡尔(Descarte)、费马(Fermat)等等数学名人。我们后来都不从事数学研究，可是对学术研究都产生了敬慕之心。

1940年秋天，日本飞机几乎每天轰炸昆明。我们在小东角城的家被炸得徒有四壁，全家迁到昆明西北郊的农村——龙院村，开始了更为困苦的生活。父亲风尘仆仆，骑自行车每周往返于昆明城和龙院村之间。有一次天黑时，自行车从乡下崎岖又泥泞的堤埂上，滑到埂下的水沟里，父亲混身是泥，几处受伤。当时那个家，白天可见蛇行于屋梁上，夜半时后山上狼嚎声不断，令我们毛骨悚然。

当时振平、振汉、振玉及五弟(1937年在合肥出生)都还是12岁以下的孩子，正是长身体长知识的时期，可是农村没有好的学校可进，四周的物质环境又极其贫乏。大哥为鼓励帮助我们念书，同时也为爱护母亲，减少我们的顽皮捣乱，就订出了一些颇为

吸引我们的规则。一天下来，谁念书好、听母亲的话、帮助做家务、不打架、不捣乱就记一个红点，反之就要记黑点。每周谁如果有三个红点，就可以由他骑自行车带去昆明城里看一次电影以资奖励。

大哥周末从联大回龙院村，家中总是聚集着许多联大教授的孩子们，可以记得起来的有吴有训先生的孩子吴惕生、吴希如、吴再生、吴湘如；赵忠尧先生的女儿赵维志；余瑞璜先生的女儿余志华、余慧华等等。大家等着听杨大哥继续讲上周末没讲完的英翻中的故事，如金银岛、最后的摩西根、密西西比河上的生活、汤姆·索亚等等。孩子们趣味浓厚，注意力集中地听着。在偏僻的昆明乡下，孩子们的心里装进了社会、人生和世界。

熊庆来先生的儿子、大哥童年时在清华的玩伴，画家熊秉明当时已显出艺术才华。他和大哥合作自制土电影放给难得有机会看电影的孩子们看。由秉明画连环画，大哥在旧的饼干筒的圆口上装上一个放大镜，筒内装一只灯泡，当连环画在放大镜前抽过时，墙上即有移动的人物。我们记得很清楚的是土电影“身在家中坐，祸从天上来”，画的是日本飞机轰炸，家破人亡。

1942 年大哥西南联大毕业，1944 年清华研究院毕业，又考取了留美公费。他成绩特棒，这给了艰苦奋斗中的父母亲以无限的安慰，也给我们树立了很好的榜样。我们生活虽然穷苦，但有父母的爱护和教育、有温暖的家、有大哥的关怀、帮助和引导，使我们逐渐了解了自己的努力方向。平、汉、玉、复此后在中学、大学读书成绩都很不错，也都认识到要做正直、诚实的人。

1945 年 8 月大哥离开昆明经过印度的加尔各答乘船去美国留学，寻找物理大师费米。在加尔各答，他非常想念父母亲和弟妹们。他对父母亲的艰辛非常清楚，就把母亲亲手织给他的唯一的一件白毛背心从加尔各答邮寄回昆明给平弟、汉弟穿。1948

年大哥更帮助高中毕业、成绩优秀的振平去美国念大学。振平后来也留在美国，也进了理论物理领域，并曾和大哥合作做过重要的工作。

1949年新中国成立之后，振汉、振玉、振复分别进入交通大学化工系、复旦大学生物系和北京大学数学力学系。这期间父亲和大哥不断通信。父亲不时地告诉我们大哥在美国的物理研究工作做得出类拔萃。父亲对他寄以很大的希望。在长孙出世时，大哥曾写信来请父亲取个名字。父亲即取名为杨光诺，寓意振宁有得诺贝尔奖金的可能。1949年后我们虽然很少和大哥通信，在我们的心底里，大哥的成绩和人品是随时都在激励着我们的。

抗战胜利后，清华、北大、南开分别迁回北方原址，父亲不巧在1946年清华北迁时患上了严重的伤寒病，全家只得暂时滞留昆明。父亲暂任昆明师范学院数学系主任。1948夏，父亲只身回北平清华任教。1948年12月，平津战役开始，北平已被解放军东北和华北野战军包围，因为家属仍然在昆明，父亲在得知有飞机上的空位后遂乘该机飞赴南京，再转回昆明去接家眷，同机的有清华校长梅贻琦。1949年3月父亲带着全家由昆明飞到上海，等待上海解放后返回北京清华续职。5月底上海解放了，父亲却得到不为清华续聘的通知，而不被聘请的原因并不在父亲这边。父亲遂应聘为同济大学数学系教授，同时应大同大学校长胡刚复先生之聘为该校数学系兼职教授。

1952年院系调整，同济大学、大同大学还有交通大学等学校的理学院并入复旦大学；同时并入的还有浙江大学数学系。调整后的复旦大学数学系几何、分析和代数分别由苏步青、陈建功和父亲负责；系主任是陈传璋先生。年轻的数学家有谷超豪、夏道行、胡和生，他们均自浙江大学转来复旦。从1952年到1954年父亲在复旦教书两年，当时全国学习苏联教育经验，代数方面所

用的教材是父亲参考苏联教材而改编的。父亲每周认真备课,认真讲课。我那时正好在复旦生物系念书,住在复旦宿舍淞庄,紧邻父亲的宿舍瑜庄。我时常看到陈传璋先生在瑜庄父亲的宿舍里谈话商量。数学系的同学告诉我说杨先生的课教得非常好,同学们都很敬重他。

1954年冬天,父亲的糖尿病恶化,入院治疗直到1957年,这中间因对胰岛素产生抗药性而几度病危,经过华东医院精心医护,大哥即时地寄来高浓度高纯度的胰岛素后方才脱离险情。1957年初美国报载杨振宁、李政道、吴健雄在弱相互作用下宇称不守恒方面有重大突破的消息,2月18日吴有训、周培源和钱三强致电振宁和李政道,热烈祝贺他们。国内报纸也报道了这一振奋人心的消息。同年夏天,大哥来电报说将带太太杜致礼和光诺去日内瓦工作数月,希望父亲也能去日内瓦小聚,父亲那时刚过危险期不久,仍然病卧床上。他提笔写了一封信给国务院周恩来总理,意思是说近来报载有重要成就的杨振宁是他的儿子,振宁该年夏天在日内瓦欧洲联合核子研究所工作。他非常想念分别多年的父母亲,来电询问父亲能不能去日内瓦和他小聚。后来国务院办公室派人来到复旦大学,由我带去华东医院看望父亲。在周恩来总理的支持下,在复旦大学党委的帮助下,父亲带病千里迢迢经过莫斯科飞往日内瓦了。

父亲先到北京,住北京医院,离京之前曾去德胜门外功德林一号看望从未谋面的亲家杜聿明先生。杜先生托父亲带一封亲笔信给他分别多年的女儿杜致礼女士。父亲在日内瓦和大哥、致礼、光诺共同生活了难忘的数星期。他向大哥介绍了新中国的各种新气象、新事物,并带大哥到中国驻日内瓦的领事馆去看电影记录片《厦门大桥》,看到其建造时所克服的不能想象的艰难。欢聚的时刻就要过去了,大哥买了一盆终年盛开的非洲紫罗兰,专

门照了像，并在像片本上写上“永开的花是团圆的象征”。父亲临别时写了两句话给大哥、致礼留念：“每饭勿忘亲爱永，有生应感国恩宏。”①

父亲晚年疾病缠身，已无法继续教书，他希望大哥对新中国有更多的了解，又于1960年、1962年和母亲一起两度再去日内瓦团聚，父亲每次都向大哥介绍新中国的建设和新中国的思想②，他并且告诉大哥血汗应该洒在国土上，他的诗：“五七、六〇两越空，老来逸兴爱乘风；重温万里湖山梦，再叙天涯倚枱衷”，正表达了这种心情。

大哥想念高龄的父母亲，也想念二十多年未见面的弟妹们。1964年底，父母亲、振汉、振玉从上海去香港和振宁小住。美国驻香港总领事不止一次地打电话给大哥说如果双亲和弟妹们要赴美国，领事馆马上替他们办理手续。大哥回答说他们要回上海。1970年冬天，大哥原希望能再次在香港看见父母亲和弟妹们。但那时父亲糖尿病又感染上肺炎，情况严重，大哥在香港只和母亲及振汉小住。

1971年夏天，大哥怀着对父母亲和弟妹们的爱、对故土的眷恋、对师友的怀念，回到了阔别26年的中国。作为中美两国长期对峙以来第一位回国访问的旅美华裔科学家是需要有勇气和胆识的。父母亲和我们非常高兴大哥走出了这一步。这是他一生的一件大事，也是我们家的一件大事。

父亲于1973年5月12日在上海与世长辞。在追悼会上，大哥致悼词说：“1971年、1972年我来上海探望他，他和我谈了许多话。归结起来，他再三要求我把眼光放远，看清历史演变的潮流，这个教训两年来在我身上产生了很大影响。”“我想新中国的实现这个伟大的历史事实以及它对于世界前途的意义正是父亲要求我们清楚地掌握的。”

父亲是中国现代数学的一位先驱[③④]，在清华大学、西南联合大学任教授及系主任共18年，在复旦大学任教两年，造就了许多人才。他和母亲建立的家庭孕育了我们兄弟姐妹五人，培养了我们的品质，给了我们他们的人生观与世界观。

今年，1996年是父亲诞生的百周年，他出世的时候，用大哥的话，是"甲午战争和八国联军的时代，恐怕是中华民族五千年历史上最黑暗最悲惨的时代"。这是大哥在一篇描述邓稼先的文章[⑤]里面的第一句话，邓稼先（1924—1986）是他的好友，是对一百年来中华民族的"巨大转变作出了巨大贡献"的人。这是一篇至情的文章，描述了邓稼先的一生。我觉得这也描述了大哥的志向。文章的末尾有这样一段："假如有一天哪位导演要摄制邓稼先传，我要向他建议背景音乐采用五四时代的一首歌，我儿时从父亲口中学到的：中国男儿，中国男儿，要将只手撑天空，长江大河，亚洲之东，峨峨昆仑……古今多少奇丈夫，碎首黄尘，燕然勒功，至今热血犹殷红。我父亲诞生于1896年，那是中华民族仍陷于任人宰割的时代。他一生都喜欢这首歌曲。"

大哥是怎样看他自己的一生呢？他在1995年1月28日被访问[⑥]时说"我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用。"

注：

① 见本文集《杨振宁家世述略》一文。

② 《读书教学四十年》，杨振宁著，1985，香港三联书店。

③ 《中国现代科学家传记》第三集，1992，科学出版社。

④ 《读书教学再十年》，杨振宁著，1995，台湾时报出版社。

⑤ 《读书教学再十年》，第104页。

⑥ 《读书教学再十年》，封底。

（本文作者杨振玉，是杨振宁教授的妹妹，毕业于上海复旦大学，曾在中国科学院生理研究所从事科研工作。赴美后，获美国纽约州立大学石溪分校神经生物系博士，现任该系高级研究科学家。本文原载《杨振宁传》第五版，复旦大学出版社，1997 年。）

附录二　师友之忆

终生的幸运

赵　午(Alex Chao)

今天我能在这里参加庆贺杨振宁先生 70 寿辰的聚会,具有双重身份。首先,我是清华大学的校友。其次,我还是杨先生的学生。1973 年,我在纽约州立大学(石溪),成为由杨教授指导的一名高能物理研究生。他敦促我去学习一门叫做加速器物理的学问。按照他的指点,我修读了 E·库朗特(Courant)的加速器理论课程,很有收获。

后来在 1974 年,我面临毕业的时候,杨振宁先生进一步建议我把加速器物理研究作为终生事业的选择。这可是一件人生大事。起初我有些犹豫。我又一次和他谈话,争论了一番之后,终于遵从了他的忠告。今天,回过头来看,我想这是我的正确选择。在我一生的关键时刻,有杨先生的指导,真是我的幸运。

加速器物理是物理学的一个分支,和带电荷的粒子束打交道。它涉及粒子束行为的许多方面。今天,我将论及一个领域——非线性动力学。我觉得杨先生一向对它怀有兴趣。

（以下为专业论文，从略）

（本文作者为美国斯坦福 SLAC 实验室专家。原文见 C. S. Liu and S. T. Yau 编：《Chen Ning Yang — A Great Physicist of The Twentieth Century》, International Press. Hong Kong. 1995. pp. 35—45. 译者张奠宙。标题为编者所加。）

“50年代的天下是杨振宁的”

郑 洪(Hung Cheng)

35年前春天的一个早上，我一起床，就听到杨振宁和李政道获得了诺贝尔物理学奖。因为这是中国人第一次获得世界最高学术桂冠，那天早上，我所遇见的每一个中国朋友，都感到惊奇、激动、欣喜和骄傲。像其他人一样，我也感到激动、欣喜和骄傲，却不像别人那样觉得意外的惊奇。这是有道理的。大约在这件历史性事件发生的一年之前，我在台湾大学的图书馆里碰到一位同学。当我站着同他聊天的时候，他顺便提到，据说是奥本海默的一句话。这句话使我大吃一惊，以至现今我还能一字一句地记得起来：“50年代的天下是杨振宁的”。我后来始终没能找到它的正式出处，也许它不过是校园里的一种传闻和猜测而已。但是，对于一个远离美国在地球另一头的年青大学生来说，这些话定会留下深刻的印象。这样，在35年前那个值得纪念的日子里，当我听到公布诺贝尔奖的消息时，觉得一个已赢得“天下”的人获得诺贝尔奖是理所应当的。我真心希望有一天会见到他和做他的学生。

1963年冬天，我实现了第一个愿望。那是在普林斯顿大学中国学生组织的圣诞聚会上，杨振宁和杨夫人也亲切地到会和大家见面。在这次聚会上我第一次看到了杨振宁先生本人。我只说“看见了”(不是“见到了”)，是因为我认为杨先生并没有看到

我。我只是围着杨先生的许多笑脸中的一张,聆听着他所说的每一句话。他向我们讲述他访问波士顿的剑桥,考察新落成的加速器的情况。

那一次,他着实使我感到一份惊喜。他像一位实验物理学家那样,向我们复述那座加速器的各种参数和许多细节,和我先前遇到的那些理论物理学家很不一样。过了一会儿,他和杨夫人开始跳舞了。我敢断定,他们跳的是一种十分优雅的华尔兹。我从未见过任何理论物理学家跳华尔兹舞能跳得这么好。

1968年,当我和吴大峻合作研究高能散射的时候,我实现了第二个愿望。大约有两年时间,吴大峻和我经常开车去石溪。(后来我常常感到害怕。因为那时多半是吴大峻开车。我没法断定吴大峻的思想是集中在掌握方向盘呢,还是在求某个积分。)我们向杨振宁先生报告在高能散射研究的最新结果,并且和他进行极富激励性的讨论。我非常钦羡他的直率、他的真诚,愿意倾听不合常规的意见,以及无私地让我们分享他的睿智。我们能够在面对众多的反对意见的情况下,终于得出全截面散射会随着能量增加而无限发散的结论,杨先生的鼓励和支持乃是一个主要的因素。

今天我要讨论的是另一个课题——主要归功于杨振宁教授的20世纪理论物理的一个重大胜利。我说的是杨—米尔斯规范场(非交换规范理论)。特别地,我要讨论如何将杨—米尔斯场量子化。

(中间一段有关规范场量子化的论述略去)

杨—米尔斯理论是1954年提出的。可是在近30年之后,才能完全弄清楚它的量子化内涵。这正是杨振宁教授创造力和学术威力的令人惊异的见证。然而,杨振宁先生的智慧不仅限于科学。每一个有机会和他谈话的人,都会被他广博的兴趣和深邃的

思想所打动，而在和他分手时，总会觉得异常的充实。从我第一次看到他已有29年了，我向他学习的不仅是物理学，还包括各种各样的问题：从中国面临的国家大事，到我的电视机为何效果好，以及为什么我粉刷厨房时会遇到麻烦等等。我之所以钦敬他，不仅是因为他对物理学做出了真正革命性的贡献，还因为他的同情心，他的宽容，他的真诚和正直，总之，他的整体人格。我愿把数百年前的一首古诗奉献给他，借以表达我的敬意：

云山苍苍，江水泱泱，先生之风，山高水长。

杨先生，祝您生日快乐！

（本文作者是美国麻省理工学院数学系教授。原文见 C. S. Liu and S.T. Yau 编：《Chen Ning Yang — A Great Physicist of The Twentieth Century》，International Press. Hong Kong. 1995. pp. 49—57. 译者张奠宙，本文标题为编者所加。）

六十余年的友谊

陈省身(Shiing-Shen Chern)

我第一次遇到振宁是在1930年秋天，那时我刚成为北京清华大学数学系的一名助教。数学系很小，只有4位教授，2名教员，我则是唯一的助教。振宁的父亲杨武之(克纯)教授，是系里的一位代数学家。我不时到他家作客，看到只8岁的振宁，而我则是19岁。我们彼此一定说过话，但没有太多的接触。杨武之教授几次提及作为小学生振宁的聪慧，这给我深刻的印象。

由于战争的关系，清华大学于1937年迁到长沙，1938年再迁到昆明。我在国外留学三年后回清华任教，而他则成为一名大学生。大约在1940年前后，振宁修读我讲的微分几何课程，以及一些后续的高级课题讨论班。那时我正在努力学习E.嘉当的工作，认识到联络概念所起的中心作用，并写了几篇讨论对已知几何结构赋予联络的论文。我很高兴地说，我们两人的工作都和联络有关。

在准备这篇报告的时候，我学习了有关杨振宁的若干工作。物理学，对我来说一直是很难的。我希望向大家报告(从数学家的眼光来看)我已经学到了些什么。

(本文为庆贺杨振宁70寿辰而作。原文题为《杨—米尔斯方程和杨—巴克斯特方程》，全文分为"六十多年的友谊"、"杨—米尔斯方程"、"杨—巴克斯

特方程"、"一首诗"共四部分。这里译出的是第一部分。第二、三两部分涉及数学和物理学的较深内容，第四部分是一首诗，此处略去。本文的英文原文见：C. S. Liu and S. T. Yau 编：《Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century》, International Press. Hong Kong. 1995. pp. 63—66. 译者张奠宙。）

杨振宁教授

邹祖德(T.T.Chou)

在杨振宁教授70寿辰之际,应邀写些有关杨教授的文字,备觉荣幸。

1956年11月,吴大猷先生首次自美国返回台湾访问,他在演讲中提到了少数杰出的中国物理学家在美国做出的成就,那是我第一次听到杨振宁的名字。对于一个刚从电机工程转到物理系的研究生来说,这次演讲给我留下了深刻的印象。不久之后,实验证实了杨振宁和李政道教授关于"宇称不守恒"的预测。他们两人成了1957年的诺贝尔物理学奖的获得者。这一褒奖立即使得杨振宁成为在全世界华人区域内家喻户晓的名字。对于千千万万受到鼓舞的年青中国学生来说,杨振宁是他们的偶像和仿效的模范。在一般中国人眼中,他是中华民族荣誉的象征。12年之后的1969年,在英国利物浦的一间小小的中国餐馆里,当我听到受教育不多的餐馆老板十分尊敬和骄傲地谈起杨振宁,我感到惊讶,也深深地被感动了。

我曾经长时间地希望能见到杨振宁教授,可总是失却机会。1964年,我随M.特莱斯顿(Max Dresden)教授从爱荷华大学移到纽约州立大学石溪分校。1966年春天,我终于见到了他。

会面之后不久,杨振宁教授从普林斯顿来到石溪,就任爱因斯坦教授。我决定就我的研究课题向他请教。我是一名刚毕业

的博士，带着忐忑不安的心情去见他。我听了不少著名科学家粗暴对待年青科学家的故事(这种故事今天依然会有。在刚出版的由 K. C. Wali 写的有关 S. Chandrasekhar 的传记中，有一个传言是：在 Yerkes 天文台有两座楼梯，一座要经过 Chandra 的办公室，另一座在大楼的另一侧。当学生们知道 Chandra 在办公室时，都绕道不走有 Chandra 办公室的那座楼梯)。但是我第一次见到他时，杨先生一点没有架子，真诚地接待我，我的担心一下子全没了。

他建议我不要雄心勃勃地去搞大的时髦问题，也不要盲目地跟着别人的脚印走。人们应当从简单的可以做的，与物理现象有密切关系的问题着手。他还告诫我在进行理论工作之前，务必去熟悉实验事实。这在我以后的研究工作中极为有用。至于具体问题，他要我考虑，当在电磁相互作用中 C—不变性不成立时，eta 介子衰变的可能后果。这是当时大家所关注的课题。

一星期之后，杨先生让我报告我的研究结果。当报告之后，他拿出笔记本和我比较各种结论。这时我才知道杨先生已经仔细地思考过这一问题。但是，他建议我不要发表这一结果，因为缺乏实验证据，他还不能确信 C—不变性可以不成立。后来的事实证明他的判断是完全正确的。1966 年秋，CERN 的大量数据否定了先前的一些实验报告，重新肯定了电磁相互作用中的 C—不变性。

我和杨先生的真正合作是从 1966 年末开始的。有一阵我们考虑统计力学，然后就移向高能碰撞。这种合作，使我获得少有的机会得以欣赏他的风格，看到一个伟大的头脑是如何思考的，以及从近处观察他的个性和气质。

我觉得杨先生科学工作的特点是，以他非凡的能力去探索新发现物理现象的前沿，并用他深邃和广博知识，洞察理论物理学

的各种结构。

在基本粒子物理学,他和李政道关于"宇称不守恒"的工作,是划时代的成就。1953—1956年间,theta—tau难题困惑着每一个物理学家,他们大胆地在弱相互作用中推翻宇称守恒定则以走出困境,尽管这一定则在当时似乎是神圣不可侵犯的。在不带电K—衰变的CP不守恒的工作中,他和吴大峻所进行的敏锐而且漂亮的现象分析(它为后来的实验分析提供了框架),是他大胆地深入物理学未知领域前沿的又一范例。

在我们合作进行的高能碰撞研究中,杨振宁教授再次显示出他所具有的罕见能力:从大量新实验结果中挑出有意义的事实,并形成一种清晰、简明、有条理的关于碰撞物理学的描述。他的风格有些保守,对物理学的传统保持高度尊重。但当需要勇气的时候,他也会表现得十分果敢。

他对理论物理学基本结构的贡献更加令人难忘。由于在1954年和米尔斯(Mills)发现了非交换规范场,他为后来关于电磁力和弱相互作用力的统一理论奠定了基础。杨—米尔斯方程是一个真正的纪念碑式的成就,其重要性只有麦克斯韦、爱因斯坦、薛定谔和狄拉克的工作可与媲美。

杨振宁教授的独创性和洞察力也在统计物理和凝聚态物理的工作中显示出来。关于二维Ising铁磁体的自发磁化的精确计算,令人惊叹地展示了他对经典数学的深刻掌握和对复杂计算的非凡耐性。他的有关"磁通量量子化"和ODLRO的工作都是对理解超导性质产生极大影响的重要杰作。他在1967年研究一维delta相互作用问题时发现的杨—巴克斯特(Yang-Baxter)方程则是他的另一个主要贡献。15年后,人们才开始认识它的意义和影响。今天,大家都相信杨—巴克斯特方程是一种基本数学结构,它将在未来的数学和物理中得到广泛的应用。

虽然数学和物理是他的第一爱好，但他的知识和兴趣遍及许多学科，从艺术、中国古典学术、中国历史，以至中国政治事务，甚至在从事业余爱好时，他也像做科学研究那样深入钻研。我记得他在1977年秋给我打电话，说他访问了中国西北的兰州市。我在幼年时代曾因战争在兰州住过四年。他关于兰州旧城的大部分描绘和我的幼时记忆完全吻合。但是，有两件事使我们感到疑惑不解，第一，他似乎没有看到在他下榻的宾馆附近应有一座梯形的装饰华丽的木桥，它已有200年以上的历史；第二，他没有看到兴隆山上成吉思汗的黄金灵柩和其它遗物，那是兰州近郊一处游览胜地。大约两周之后，我收到他寄来的一张木桥的照片，正是我记得的那座桥。照片是从瑞典探险家斯文赫定（Swen Hedin）于1900年代初所写的一本书上复印来的。照片下有一行短注："这是不是你所描绘过的桥？它已不再存在。成吉思汗的遗物在1954年已送回蒙古。"

杨振宁教授以中国人为荣的强烈中国意识，他所接受的中国传统影响，以及他对中国的关切，都真切地流露在他获诺贝尔奖时的演说，以及收录在《读书教学四十年》（香港三联书店，1985）里的许多文章之中。他在1971年夏天从美国去中国，乃是著名学者访问中国的第一人。在长期处于隔绝状态之后，杨振宁在促进两国人民间相互了解的努力，是1970年代中国和美国发展联系的催化剂。他在使中国政府确信发展基础科学研究的重要性，以及在支持两国间进行学者交换的各种努力，对文化革命之后中国科学和技术的飞速发展有巨大贡献。

杨振宁是一位伟大的物理学家，也是一位伟大的人物。他高雅、诚实、和蔼、慎思。他是一位正直的完人，具有中国文化传统的君子和学者。作为世界上的著名人物，他一直十分谦虚，令人可亲。不管他的工作日程何等繁忙，凡是向他寻求帮助和征求意

见的人，特别是正在为他们的事业奋斗的年青人，总是可以得到和他接近的机会。他会毫不迟疑地作坦率的评论，给予鼓励和建议，使你自由地分享他的智慧。他的慷慨是出名的。1989 年，R. 米尔斯在谈到 1954 年和杨振宁合作的时候这样写道（American Journal of Physics, 57(1989)493）：

> 杨振宁对刚开始工作的年青物理学家总是慷慨地给予许多机会。他把他的有关规范不变性的想法告诉我，于是有了相当深入的讨论。

在过去的 26 年里，我能有机会接近杨振宁先生，并一起工作，真是太幸运了。我深深地感谢他的指导和不倦地鼓励。这种指导和鼓励影响了我的一生，也导致我们愉快的、有成效的长期合作。

（本文作者是美国乔治亚大学物理系教授。英文原文见 C. S. Liu and S. T. Yau 编：〈Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century〉, International Press. Hong Kong. 1995. pp. 69—71. 译者张奠宙。）

杨振宁对我的影响

朱经武(C.W.Chu)

我记不得精确的日期了。那是1957年10月一个多风的晴天,新闻媒介报道:两位年青的中国物理学家赢得了诺贝尔奖。这是一个划时代的事件。多年来,在西方技术优势面前一再失败的中国人,开始怀疑起自己的科学能力来。这一事件有力地促使中国人恢复自信。我那一代人和后来的几代人,都迷上了物理学。在随后的几个月里,作为台湾中部沉静小镇上的一名中学生,我读了我能得到的有关杨振宁的一切材料。尽管那时我对这项能获诺贝尔奖的物理知识所知极少,但在此后的那些天和几个月里,我们在教室里、操场上,总在谈论"宇称不守恒"的话题。那些非科学的、哲学的谈论,不正确的远多于正确的。由于我一向对电磁学有兴趣,这一有关诺贝尔奖的新闻更使我毫不犹豫地进了物理系。

后来稍微懂了一点物理,便对杨振宁在物理学上的渊博和深刻掌握惊叹不已。我修统计物理课的时候,学了许多杨振宁的工作,其中包括二维Ising模型和相变的漂亮处理。当我成为一名研究超导现象的学生时,他的关于非对角长系列顺序(Off-diagonal-long-range order)和磁通量量子化的开创性工作,使我大开眼界。最近几年,我和他有好几次关于高温超导的谈话,都是很令人激动的。在一次特定的讨论之后,我甚至化了好几天去设计一个实验去证实他的预测。不幸,大自然向人们披露这一真理

的时刻还没有到来。

1969年，我在石溪见到杨教授。他既是一位睿智的物理学家，又是我们家庭的朋友〔由于我和陈省身教授的女儿May(陈璞)结了婚〕。人生正是一系列神奇的相遇。在那次会见之前，我认为只有两类科学家，一类是只告诉别人他做了什么，另一类是只问别人正在做什么。但我发现杨振宁教授属于极少数的第三类：他总是慷慨地让人分享他的激动人心的成果，同时又对别人的任何科学领域的工作有强烈的好奇心，通过仔细倾听其他物理学家的工作并提供有益的建议，以增强他们的信心。他像一位文艺复兴时代的人物那样，具有科学、文学、历史、艺术许多方面的广博知识。和他谈话，真是一次不间断的令人鼓舞的学习过程。

杨教授不仅是一位物理学家，还是一位人文主义者。他所做的一切已经而且将继续对物理学家，尤其对华人学者以及中国科学的发展，产生深远影响。可以说，杨先生还改变了我的人生道路。这是由于他把我的导师(已故的B. Matthias教授)关于我的准确“信息”，转达给陈省身教授。那时我正在追求陈教授的女儿，陈璞，现在她是我的妻子。

在这喜庆的场合，我想把我的以下思想献给杨先生，这些想法也许会最终导向令人激动的高温超导乐园。同时，我也祝愿杨教授健康长寿，在今后的很多年内继续贡献深刻的物理学思想和丰富的成果。

(本文作者是美国休斯顿大学物理系和超导研究中心教授。英文原文见：C. S. Liu和S. T. Yau编《杨振宁——20世纪伟大的物理学家》(Chen Ning Yang: A Great Physicist of the Twentieth Century). International Press. Hong Kong. 1992. pp. 74—84。这里译出的是全文的前言部分。正文中的有关超导的部分略去。本文的标题为译者所加。)

回忆在普林斯顿的岁月

黄克孙(Kerson Huang)

1956到1957年，作为一名博士后，我在普林斯顿高等研究所工作了两年。那是一段值得纪念的岁月，因为我有幸与杨振宁(杨振宁的朋友都叫他Frank)一起工作。

那时，他和他的妻子杜致礼，以及他们唯一的孩子Franklin一起住在卡特路。我仍记得驾着我那第一辆车(1950年生产的，淡蓝色的普利矛斯牌)去聚餐的情形。他们刚在整个客厅内铺上厚厚的白地毯。为了拆下通向餐厅的门，并把门的底部刨掉一些，使门不刮地毯时，显然，杨振宁遇到了一点麻烦。当我进去时，他正在发愁。由于刨得太多，因而间隙太大。

晚饭后，我们开始下中国象棋。我从未见过有人像杨振宁那样下棋，每走一步棋要艰难地想好半天。凌晨两点了，棋局仍在激战中。杨振宁说，“封盘了，明天继续下”。事实上，我们一直没有下完那第一盘棋。

就这样开始了那两年的生活。那是一段令人难忘的岁月。下面记录了其中的几个片断。

●某天，杨振宁一家回到家，发现一只臭鼬正在厨房沉睡。一阵惊慌之后，他们拨通了普林斯顿警察局的电话。两名警官随身带来了一只口袋，里面装着用氯仿(麻醉剂)浸泡过的碎布，并把碎布小心地盖在那动物身上。

●我很少看到杨振宁着盛装。他总是穿着同一套西服。我打趣说他只有一套服装，无论婚丧喜事都适用。多年以后，杜致礼还记得这句趣话。

●致礼姓杜。她笑着说：早年在中国的学校读书时，同学们都叫她“肚子里”。

●杨振宁说，他一旦走出电影院，就把电影的内容忘了。因此他可以重复看同一部片子，而每次都像在看新片一样。

●杨振宁曾说过这样一则笑话：一位中国人向一位外国朋友解释说，中国人在吃饭时，大家都在一个盘子里挟菜，这会有利于增强团结。那位朋友想象一番之后，问道：“如果餐桌很大，那么怎么能碰得到碟子呢？”这位中国人答道：“噢，我们有长筷子啊。”那位朋友想了一会，又问道：“如果筷子真是那么长，那么你怎么把菜放到嘴里？”这位中国人答道：“我们用长筷子和桌对面的朋友相互喂着吃！”

●在展望美国将用一条超级高速公路联结东西海岸时，杨振宁说，如果在入口处拿一张票，在出口处凭票计程交钱，那么费用也许很可观。但是，如果一位向西方向行驶的驾驶员和一位向东方向行驶的驾驶员在中途相遇，那么他们交换一下票，两位都不必付费了。

●杨振宁和我通常用中文讨论物理学中的问题，每当有外国朋友进门，出于尊敬，杨振宁开始夹用英语，当那位朋友最后到达面前时，杨振宁已经完全过渡到用英语交谈了。

与杨振宁一起工作很愉快。与他的严肃认真相伴的是他有孩子般的好奇和天真。有些问题，往往一时难以解决，我们会静坐在那儿长时间地思考（像走一步棋那样）。直到其中一位有想法了才打破这种沉默。每当我们找到一条出路，他会宣称“我们反败为胜啦！”

杨振宁把某些想法说成"妙",即指某些"灵巧、奇异而神秘的",具有特点的方法。如果某种方法实在妙,他就会说"妙不可言!"

杨振宁能在长时间,有时甚至几年内一直把一些想法作为背景材料存档,有朝一日也许会成为一把急需的钥匙。显然杨—米尔斯场的思想就是例子。我们研究过的硬球气体问题也是如此。在我来到普林斯顿的一年之前,他和路丁格(Luttinger)已经设想用费米的"拟势"来代替硬球间的相互作用。但是发现超出最低阶摄动理论的范围以后,基态能量发散。后来,Luttinger离开了,杨振宁就把这种方法束之高阁。我曾对同样的问题感兴趣,并且由V.F.Weisskopf和S.D.Drell指导,在麻省理工学院做博士论文时已经解决了核—核势的硬核问题。在普林斯顿,杨振宁和我再度开始该课题的研究,得出可以通过减损程序来克服发散困难,并且由此开辟了众多的应用途径。

他和李政道建立了一般相变理论,并用Ising模型进行说明,导出了著名的"圆环定理(Circle Theorem)"。爱因斯坦对相变具有浓厚的兴趣,曾请他们给予解释。正如杨振宁对我所说,当他埋头于讲述复逃逸平面时,爱因斯坦问"然而,那些分子如何知道?"〔后自威尔逊(Wilson)时代以来,我们仍无法回答的一个问题。〕

某天,杨振宁兴高采烈地从镇上回来对我说:"当我理发时,产生了一个想法。我想所有基本粒子好象一种固体的激发,它们彼此间像声子—声子一样的相互作用,刚好表示它们还不'基本'。我相信这是正确的,但我不知道如何去证明它。"三十多年以后,这一想法仍然被束之高阁。

他以传统的中国学者的方式对待他的工作,即注重诗的意境——一种崇高的艺术。他喜欢杜甫(712年—770年)的著名诗句

语不惊人死不休

在论文集中，他再次引用了杜甫的诗句

文章千古事，得失寸心知。

1957年我离开普林斯顿，满载而归。与杨振宁的相识是令人激动的、有趣的，但首先是荣幸的。下半年，杨振宁和李政道因正确地论证了左和右有本质的不同而获得诺贝尔奖。这是中国人获得的第一个诺贝尔奖。物理学领域中，与这件事本身同样具有深远意义的是，它使许多人激动不已，他们认识到这是一种象征：西方列强基于起源于1000年前的中国技术，用"坚船利炮"瓜分了中国，而在100年之后，一只凤凰正从废墟上冲天而起，整个一代中国年青科学家都受到杨振宁和李政道所树立的榜样的鼓舞。

杨振宁和我一样，我们在感情上都与中国历史、文化和我们父辈有着非常自然的联系。当他成为一位美国公民后，杨振宁曾动情地说过：

"中国有过辉煌灿烂的文化，她近一百多年来所蒙受的屈辱和剥削在每一个中国人的心灵中都留下了极深的烙印。任何一个中国人都难以忘却这一百多年来的历史。我父亲在1973年故去之前一直在北京和上海当数学教授。他曾在芝加哥获得博士学位。他游历甚广，但我知道，直到临终前，对于我的放弃故国，他在心底的一角始终没有宽恕过我。"

我对此也有同感。为了中国的复兴，我父亲怀着火一样的热情耗尽了他的生命。他死于1956年，当时我还在普林斯顿工作。在杨振宁的内心深处，他一定意识到他为这种复兴所作的贡献，已远远超出每个中国人所应做到的那一份。

1964年12月，杨振宁的父母、妹妹、弟弟获准去香港会见杨

振宁。我那时正好也在香港看望我母亲和我妹妹，我们两家曾在九龙的一家餐馆里团聚。

1971年我正在汉堡的DESY访问。一天晚上，当我走出一家餐馆时，在一个报摊上看到了一则标题新闻：基辛格从北京返回，完成了历史性的秘密访问。稍后，我就收到了杨振宁用中文写的一封信。“我此时此刻正在飞往北京的飞机上。”对我来说，那真是一个激动人心的时刻。

在物理学上，杨振宁工作的一个基本主题一直是探索对称性，并以此来阐述一些复杂的似乎不能说明的现象。这个主题一直贯穿在他早期关于双光子衰变的工作中、与李政道合作的关于不守恒的获诺贝尔奖的工作中、以及杨—米尔斯场（或许这是他最具持久影响力的工作）的发现中。由此也许能够解释为什么杨振宁会被强子碰撞的沸腾所产生的简单模式所吸引。1967年，他和邹祖德一起合作研究这个课题，以后又多次回到这一领域。1986年，在杨振宁送给我的关于这个课题研究的预印本背面，他题写了陆游（1125年—1210年）的诗句：

形骸已与流年老，诗句犹争造化工。

到70岁，孔夫子已能做到“从心所欲”。我祝愿杨振宁教授：在漫长的岁月里再争造化之工。

（本文作者是美国麻省理工学院物理系教授。英文原文见C. S. Liu and S. T. Yau编：《Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century》，International Press. Hong Kong. 1995. pp. 163—166，译者徐龙炳。）

杨振宁

李炳安 邓越凡(Bing-An Li and Yuefan Deng)

杨家原籍安徽省凤阳府。杨振宁的曾祖父杨家驹(字越千)曾任安徽省太湖县的都司。1877年任满回原籍,途经合肥,为朋友挽留定居于此。杨振宁的父亲杨克纯(字武之)是他祖父杨邦盛(字慕唐)的长子。杨武之是美国芝加哥大学的数学博士,回国后曾任清华大学与西南联合大学数学系主任多年。

杨振宁出生在合肥县(今合肥市)县城西大街四古巷。1933—1937年在北京崇德中学上学,1937年秋进入合肥省立第六中学。1938年初他们一家到了昆明,杨振宁进入昆华中学高中二年级学习。1938—1942年就学于西南联合大学。

西南联合大学教授阵容十分强大。教杨振宁大一国文的有朱自清、闻一多、罗常培和王力等。杨振宁跟赵忠尧学习大一物理,跟吴有训学习大二电磁学,跟周培源学习大二力学。他的学士论文的导师是吴大猷。吴大猷先生给了他一篇罗森塔耳(J. E. Rosenthal)和墨菲(G.M. Murphy)于1936年写的关于群论和分子光谱的总结性文章。杨振宁的父亲杨武之在芝加哥大学的博士论文导师是代数专家狄克逊,杨武之让杨振宁从狄克逊写的《现代代数理论》中学习群表示理论。杨振宁发现书中仅用二十几页就将群表示理论讲得清清楚楚,极合他的口味。实际上,当他还是一个高中学生的时候,就从他父亲那里学到一些群论的基

本原理，曾被放在父亲书架上的斯派塞的《有限群论》(*Die Theorie der Gruppen von endlicher Ordnung*，1923)中的美丽图形强烈地吸引住。他的家庭使他很早就受群论的熏陶。他写学士论文的经历，又使他对群论与对称性在物理中的应用有了深刻的印象。

杨振宁于 1942 年毕业于西南联合大学，进入清华大学研究院学习 2 年。他的硕士论文导师是王竹溪。在杨振宁进入清华大学研究院之前，曾听了王竹溪一系列关于相变的演讲，使他了解到相变是很重要的问题。在王竹溪指导下，他完成题为"超晶格统计理论中准化学方法的推广"的统计力学文章，这篇文章与一些其他工作合起来成为他的硕士论文。在研究院这 2 年间，他也从马仕俊那里学习到很多场论知识。

吴大猷和王竹溪引导杨振宁走的两个方向是对称原理和统计力学。杨振宁始终强调这是他一生中主要的研究方向。

1944 年夏，杨振宁考取了留美公费生，按照考试委员会所选定的专业，他报考了高电压专业。按照考试委员会"凡录取各生应在原机关服务留待后信"的规定，杨振宁从 1944 年秋到 1945 年夏，在西南联合大学附属中学教了一年高中数学。他一面教书一面学习和研究场论，彻底地学习了泡利所写的关于场论的总结文章。

杨振宁在昆明的 7 年，打下了坚实的基础，也基本上决定了他今后研究的主体方向。爱因斯坦、狄拉克、费米当时已经是他最崇敬的三位物理学家。1945 年 11 月下旬他到达美国，原希望师从费米，但费米已离开了哥伦比亚大学，去处不明，使他甚为失望。几经周折，最后才在张文裕教授那里打听到费米即将去芝加哥大学的消息。

1946 年初，杨振宁到芝加哥大学注册成为研究生。开学不

久，他向费米提出，希望在他的指导下写一篇实验论文。但费米的实验室当时在阿贡，杨振宁是外国人，不能进入阿贡实验室。后来，费米介绍杨振宁到艾里逊(S. K. Allison)的实验室去工作。当时这个实验室正在造一台 40 万电子伏的加速器。杨振宁和另外五六个同学花了大约 20 个月的时间，帮助艾里逊造成了加速器。可是，他用此加速器所做的实验却不成功。杨振宁接受了泰勒的建议，放弃实验，而把他当时已差不多写好了的一篇理论文章作为博士论文。

泰勒对群论在物理中的应用有很直观的见解。杨振宁从他那里学到不少东西，杨振宁的题为“核反应与关联测量中的角分布”的博士论文就是结合了物理见解与群论方法的一项工作。

在芝加哥期间，杨振宁一方面从事粒子物理的研究，一方面继续发展他对统计力学的兴趣。他花了很大力气读昂萨格在 1944 年所写的关于二维 Ising 模型的文章，为了理解顺磁化的机制，他还研究了布洛赫关于自旋波的文章及贝特 1931 年和赫尔谈 1938 年的文章。这一段努力，虽然没有立刻得出成果，却为他后来的工作打下基础。

费米和泰勒，特别是费米的研究风格的特点，杨振宁认为是从物理现象出发，不是自原理出发。杨振宁称这种方法为归纳法，对他有很大的影响。他说他在中国学到了推演法，在芝加哥大学学习了归纳法，先后得到了中西教育精神的好处。

杨振宁在芝加哥大学活跃的学术气氛中，接触到最有发展前途的一些研究方向。那时正值粒子物理开始新的蓬勃发展。他与同辈的工作者和这门学科一同成长。在为他 60 岁生日的一篇演讲《读书教学四十年》[①]中，他说：“(我们)很幸运。”

1949 年春，杨振宁申请到普林斯顿高等学术研究所去做博士后研究，因泡利和朝永振一郎要到那里，那里还有一批在重整

化领域中很活跃的年轻的理论工作者。当这个所的所长奥本海默接受了杨振宁的申请之后，费米劝告他在那里不要超过一年，因为那里的物理太抽象了。实际上，费米、艾里逊和泰勒已得到芝加哥大学的同意，在1950年再将杨振宁聘请回来。

1950年春，奥本海默给杨振宁在高等学术研究所继续工作5年的机会，当时杨振宁有几种选择，但最重要的是要决定是否回芝加哥大学，他完全记得费米的告诫：不要在这个研究所待太久。可是他的女朋友杜致礼那时正在纽约读书，离普林斯顿只有一小时的火车路程。所以，他最后决定留在普林斯顿。杜致礼是杜聿明将军的女儿，是杨振宁在昆明西南联合大学附属中学教书时的学生。他们于1950年8月26日结婚，生有两个儿子和一个女儿。长子杨光诺生于1951年，次子杨光宇生于1958年，女儿杨又礼生于1961年。

1952年12月中旬，杨振宁收到布鲁克海文国家实验室Cosmotron加速器的部主任柯林斯(G. B. Collins)的信，邀请他访问布鲁克海文一年。Cosmotron是当时世界上最大的(3吉电子伏)质子加速器，可以产生π介子和奇异粒子，许多实验组都在那里工作，做出许多有趣的结果，为此杨振宁决定接受这一邀请，于1953—1954年在布鲁克海文实验室工作了一年。1954年回到普林斯顿，1955年晋升为教授。

杨振宁在普林斯顿，自1949到1966年前后17年，他自己说这是他一生中研究工作做得最好的时期。1965年春，奥本海默告诉杨振宁，他准备从普林斯顿高等学术研究所所长的职位上退休，他想向董事会推荐杨振宁做他的继任人。杨振宁告诉奥本海默，自己不想成为这个所的所长。奥本海默让杨振宁想一想再决定，经过考虑，杨振宁在一封给奥本海默的信中说：“我不能肯定我会成为一个好所长，但我肯定不欣赏一个所长的生活。”尽管如

此，命运给杨振宁作了一个新的安排。在1964—1965年间，纽约州政府在纽约州内的大学中设置了五个爱因斯坦讲座教授的职位。纽约州立大学石溪分校的校长托尔(J. S. Toll)和物理系主任邦德(T. A. Pond)与杨振宁接触，希望他接受该校的爱因斯坦讲座教授的职位。托尔和邦德并希望在石溪分校建立一个理论物理研究所，由杨振宁当所长。这是一个很小的研究所，管理起来很容易，考虑以后，杨振宁接受了石溪的邀请，于1966年到职。

1991年，本文作者写信给托尔，托尔在1991年2月22日的回信中说："杨振宁到石溪分校是该校发展中最大的一件事。""该校自杨振宁到校后，一跃而成为美国注重研究的大学之前茅。他对全校的研究空气，对物理系数学系的教师阵容，对理论物理研究所的研究方向，对学校与社会的关系，都发生了巨大的影响。"石溪分校的现任校长马伯格(J. H. Marburger)在1991年4月1日给本文作者的回信中说："杨教授来到石溪，是石溪在发展成为一个优秀的研究学术机构过程中的突破，使石溪成为美国一个优秀的科学中心。"

1971年夏天杨振宁访问了新中国，是知名华人学者访问新中国之第一人，为中美文化交流，为中美人民之相互了解，起了极大作用，深得毛泽东主席和周恩来总理的赞誉。

杨振宁于1983年回忆1971年的感受与感想时说："(那时)我想我对于中国和美国都有一些认识，而且都有浓厚的感情，在这两个大国初步接近的形势下，我认识到我有一个做桥梁的责任，我应该帮助建立两国之间的了解和友谊。"①

确实，杨振宁从1971年以来在这些方面做了大量工作，他于1977年出任全美华人协会首任会长，为促进中美建交(1979年)做了许多工作。1981年他在石溪分校设立了CEEC奖金，自美国和香港捐资支持中国各大学、各研究所人员到石溪做访问学

者,迄今已有 80 余人得到此项支持,其中绝大部分已回国到原单位服务。

1983 年杨振宁在香港创立中山大学高等学术研究中心基金会,自任基金会主席。8 年以来基金会捐助中山大学 1000 多万港币,支持了中山大学近百项研究项目,并为中山大学建成一座研究大楼。

自 1986 年起,杨振宁接受陈省身教授邀请,在南开大学数学研究所内组织了理论物理研究室。数年来该室在国际数学物理学界已颇有声誉。

杨振宁于 1957 年获得诺贝尔奖,1980 年获得拉姆福德(Rumford)奖,1986 年获得美国国家科学奖章。他有多项荣誉学位,也是中国许多大学的名誉教授。

三个最重要的研究工作

杨振宁对理论物理学的贡献范围很广,包括粒子物理学、统计力学和凝聚态物理学等领域。在理论结构和唯象分析等方面他都取得了重大成就。其中杨—米尔斯场论、弱作用中宇称不守恒的发现及杨—巴克斯特方程是他对物理学和数学的不朽贡献。

1. 杨—米尔斯场论

1953 年杨振宁在访问布鲁克海文期间,和米尔斯一起提出了非阿贝尔规范场的理论[②③],即著名的杨—米尔斯场论。这种场与称为阿贝尔规范场的电磁场不同,是一种有非线性相互作用的场,场强为:

$$F^a_{\mu\nu} = \frac{\partial B^a_\mu}{\partial x_\nu} - \frac{\partial B^a_\nu}{\partial x_\mu} + gC_{abc}B^b_\mu B^c_\nu \tag{1}$$

拉氏量为:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F^{a}_{\mu\nu} F^{a}_{\mu\nu} \tag{2}$$

这种场与其他粒子的相互作用，也由规范不变性原理确定了。当杨振宁还在芝加哥读研究生时，就已经对电荷守恒理论与在相因子变换下拉氏量的不变性的关系感兴趣。当时，实验上已发现许多粒子，这些粒子之间的相互作用十分复杂。他认为需要有一个原理将它们之间的相互作用确立下来。那时，他就想把相因子变换下的不变性推广到同位旋守恒的情形中去。他尝试过许多次，都在建立方程(1)时遇到困难。1953—1954 年当杨振宁访问布鲁克海文时，他又一次回到这个问题上。当时米尔斯与杨振宁共用一个办公室。那时米尔斯是哥伦比亚大学克劳尔(N. Kroll)教授的博士研究生，即将完成他的博士论文。杨振宁邀他一同研究这个问题。他们于 1954 年 2 月初步完成对此问题的研究。文章于 6 月底写好，10 月初在《物理评论》(*Physical Review*)上发表。

这篇文章引进了非阿贝尔规范不变性及与其相关的规范场论，是划时代的工作，为整个粒子物理学奠定了以后发展的最基本的原理与方程。自然界中存在四种基本相互作用：强作用、电磁作用、弱作用和引力。现在知道，传递这些作用的都是杨—米尔斯场。

纵观 300 年来物理学的整体发展，我们才可以了解杨—米尔斯场论在历史上的地位。自伽利略与牛顿以来，物理学发展的精神是将物理世界的万千现象归纳为一些定律，最后浓缩这些定律为准确的基本方程。所以这些方程是物理学中精华的精华。本文作者之一曾指出 300 年来共有九组这种基本方程[26]：(1)牛顿的运动与引力方程；(2)热力学第一与第二定律；(3)麦克斯韦方程组；(4)统计力学的基本方程；(5)狭义相对论方程；(6)广义相

对论方程;(7)量子力学方程;(8)狄拉克方程;(9)杨—米尔斯方程。

杨—米尔斯场论在数学上也造成很大的冲击。数学家用杨—米尔斯场作为工具去揭示微分流形的性质。对四维微分流形,杨—米尔斯场方程有一类特解,称为瞬子解,瞬子解形成了一个参数空间。近年来唐纳森在阿蒂亚、陶布思(C. H. Taubes)和乌伦拜克(K. Uhlenbeck)工作的基础上,通过这个参数空间去研究四维微分流形的拓扑结构,得到了唐纳森定理,这个定理与原有的费雷德曼定理相结合导致了四维欧氏空间上存在奇异微分结构的重大发现。为此唐纳森获得了1986年的菲尔兹奖。

2. 弱作用中宇称不守恒的发现

在50年代中期,粒子物理研究十分活跃,主要的研究方向是了解许多新发现的粒子的性质:它们的电荷、自旋、质量、衰变等。在这些研究中出现了所谓 θ—τ 之谜。$\theta\to\pi\pi$ 与 $\tau\to\pi\pi\pi$ 最初以为是两种粒子。因为最简单的想法是给予它们不同的宇称。后来发现这种简单想法确实与许多实验数据相符合,所以 θ 与 τ 应该是不同的粒子。可是同时,另外又有许多实验数据指出二者应当是同一种粒子,这就产生了 θ—τ 之谜。在1953—1956年间,这个问题渐渐地被认为是粒子理论中的关键问题。

杨振宁和李政道当时对这个问题十分注意,在1955年底到1956年初,他们探索了许多解 θ—τ 之谜的道路,都没有成功。其中一条道路是提议宇称不守恒。在1956年4月3日到6日的罗彻斯特会议上,杨振宁在回答费曼的问题时说,他和李政道曾研究过此道路,但未得具体结果。

未得具体结果的原因现在看来是当时他们以及所有的物理学家都没想到关键的一点:**宇称不守恒只在弱相互作用中发生。**不但没有想到这一点,而且还有误解,以为过去的 β 衰变实验中

的宇称选择定则已证明了宇称守恒,所以 $\theta—\tau$ 之谜没有解答。

1956 年 4 月底 5 月初的一天,杨振宁和李政道在纽约一家中国餐馆吃午饭时忽然想到了这一关键的一点。以后两三个星期中他们通过许多计算证明过去的 β 衰变实验中的宇称选择定则原来都不够复杂,**都不能证明在 β 衰变中宇称守恒。**为检验他们的想法,他们提出了几类新实验。

他们的分析于 1956 年 6 月写成预印本,后发表于《物理评论》[④]。这篇文章未被当时的物理界所赞同。泡利在写给韦斯科夫的一封著名的信中说:"我不相信上帝是一个弱的左撇子……。"对于实验物理学家来说,由于他们所建议的实验都不简单,而大家又不相信他们的解决 $\theta—\tau$ 之谜的方向是对的,所以很少人动手去做他们提出的那些实验。

哥伦比亚大学的吴健雄是 β 衰变实验研究的名家,她独具慧眼,决定与国家标准局的四位低温物理学家合作,去做杨振宁、李政道建议的实验之一。半年之后于 1957 年初,吴健雄公布了他们的实验结果:在 β 衰变中宇称**确实**不守恒。这项结果引起了全物理学界的震惊。因为它关系到一个普遍的结论:弱相互作用有许多种,β 衰变只是其中一种,既然在 β 衰变中宇称不守恒,那么宇称在其他弱作用过程中也不守恒。各个实验室都竞相做其他的弱相互作用的实验。两三年以后证实,基本上在所有的弱相互作用中宇称都不守恒。

这一项成就为杨振宁、李政道二人赢得了 1957 年诺贝尔物理奖,也直接或间接促进了以后十年间基本粒子学界对对称性的多方注意。

3. 杨—巴克斯特方程

1967 年 11 月与 12 月,杨振宁写了两篇文章[⑤⑥],讨论下面一个极简单的一维空间量子多体问题:

$$H=\sum_i P_i^2+2c\sum_{i>j}\delta(x_i-x_j) \tag{3}$$

他发现，这个问题可以完全解决，其中一个极重要的方程是：

$$A(u)B(u+v)A(v)=B(v)A(u+v)B(u) \tag{4}$$

在这个方程中，$A(u)$与$B(v)$是两个矩阵，u与v是二个变数。自方程(3)，他很自然地得到了$A(u)$与$B(v)$，证明它们符合方程(4)；反过来，用方程(4)证明原来的多体问题可以完全解决。1972年巴克斯特在一个二维空间经典统计力学问题中也发现了方程(4)的重要性。1981年此方程被命名为杨—巴克斯特方程。近五六年来，人们发现杨—巴克斯特方程在物理和数学中有极广泛的意义，它是置换群结构的一类推广。

就目前所知，杨—巴克斯特方程与下列的物理数学领域有密切关系。

物理：一维量子力学问题

二维经典统计力学问题

共形场论

数学：结理论和辫子理论

算子理论

霍普夫代数

量子群

三维流形的拓扑

1990年8月在日本京都的国际数学大会上，四位菲尔兹奖的获得者中，有三位的工作都与杨—巴克斯特方程有关。一般相信，此方程是一个**基本数学结构**，将会在物理与数学方面有更广泛的应用。

其他研究工作

杨振宁几十年来工作深而广，发表了200多篇论文，除上述三个极重要的工作以外，他还做了多项重要的工作，下面简单介绍其中几项。选择这些项目基于如下考虑：(a)长久的重要性，(b)当时的重要性，(c)美妙的观念或方法，与杨振宁自己对它们的偏爱，(d)特别能显示出他的风格的。

1．粒子物理学

(1) 弱作用的强度

1949年杨振宁、李政道和罗森布鲁思(M. Rosenbluth)写了一篇关于各种弱相互作用的强度的文章[7]，此文和其他人的一些差不多同时发表的文章奠定了四种相互作用的分类，沿用至今。

(2)费米—杨模型

在1947年，π介子、μ介子相继发现，当时大家普遍相信它们都是基本粒子，费米和杨振宁写了文章《介子是基本粒子吗?》[8]。在文中他们提出π介子可能是核子和反核子的束缚态。这个工作后来被称为费米—杨模型。这篇文章是研究强子结构的先驱。

(3) G宇称

1955年秋，伯克利实验室发现了反质子。根据这一发现，杨振宁和李政道将电荷共轭对称和同位旋对称合起来，提出了G宇称的概念[9]，并确立π介子的G宇称是－1，从而简明地证明了强作用中一些选择定则。G宇称是粒子物理基本量子数之一。

(4) 电荷共轭与时间反演不守恒

1956年8月杨振宁收到了芝加哥大学欧米(R. Oehme)的信，此信是欧米看了杨振宁和李政道关于宇称不守恒的预印本后写的。此信导致了他们三人于1956年底所写的一篇文章[10]，文

章中将宇称不守恒的考虑推广到电荷共轭不守恒与时间反演不守恒。这篇文章奠定了以后讨论 β 衰变中三种不守恒现象的基础。也与后来 1964 年 CP 不守恒的分析有密切关系〔见下面(8)〕。

(5) 二分量中微子理论

宇称不守恒的发现导致杨振宁和李政道建议用韦耳的二分量理论描述中微子[11]。差不多同时,萨拉姆和朗道(L. Landau)也分别写了文章,提出了类似的建议。在后面还将比较这三篇文章,以显示出杨振宁、李政道工作与萨拉姆、朗道工作的不同风格。

(6) 高能中微子实验分析

1959 年秋,李政道和杨振宁对如何能得到更多的关于弱作用的数据发生兴趣。受了李政道的影响,哥伦比亚大学的施瓦兹(M. Schwartz)提出了做中微子束流实验的想法。这是一个重要的提议,引导出后来的许多中微子实验。关于中微子实验的第一篇理论分析就是李政道与杨振宁 1960 年的一篇文章[12]。

(7) 中间玻色子的研究

早在 30 年代,汤川秀树(H. Yukawa)就曾经讨论过中间玻色子传递 β 衰变的可能性,上面所提到的 1949 年杨振宁、李政道和罗森布鲁思的文章也讨论了这一可能性。(今天我们知道,传递弱相互作用的确是中间玻色子,即 $W^{\pm}$ 与 Z,而它们都是规范场。)1957 年夏天,继宇称不守恒的发现,β 衰变成了热门题目。在 1957 年 4 月 15 日到 19 日的罗彻斯特会议上,在蒂欧姆诺(J. Tiomno)演讲后,杨振宁说:“如果 β 衰变相互作用是矢量相互作用而不是标量相互作用,人们应问一个问题,这是否与一些矢量场有关。而这些矢量场产生于定域守恒定律的概念。”他在这里所说的定域守恒定律概念就是 1954 年他和米尔斯所引进的

概念。在粒子物理领域中,这是第一次把规范场和弱作用玻色子联系在一起。

在上面(6)所提到的关于高能中微子实验的理论文章里,杨振宁、李政道也讨论了中间玻色子,他们把它取名为 W。之后的两年里,他们对中间玻色子的性质做了许多唯象的与结构性的工作。

(8) CP 不守恒的唯象分析

1964 年 CP 不守恒现象在实验中发现以后,从理论角度探讨这一现象的文章多得不得了,众说纷纭,见仁见智,说得神乎其神。杨振宁和吴大峻不理会那些玄而又玄的幻想,做了脚踏实地的唯象分析。他们自上面(4)中所说的文章开始,利用 CP 不守恒是极弱的现象,把 $K\text{-}\overline{K}$ 衰变中不同数量级的、可以测量的参数和它们之间的关系整理清楚[13]。这篇文章引进的概念与参数(如 $K_L, K_S, \eta_{+-}, \eta_{00}, A_2/A_0$ 等)都是后来关于这一问题的实验与理论研究的基础。

(9) 规范场的积分形式与纤维丛

1974 年杨振宁写的一篇文章[14]与 1975 年杨振宁和吴大峻写的一篇文章[15],澄清了量子力学中电磁场的基本意义,澄清了阿哈罗诺夫—博姆实验的拓扑意义,从而澄清了规范场与微分几何中纤维丛的关系。1975 年的文章中有一个"字典",列出规范场语言和纤维丛语言的关系。这个"字典"引导出数学家对规范场的兴趣。上面所提到的瞬子解及后来唐纳森的工作都与此发展有直接关系。

纤维丛的概念与拓扑学有密切关系,所以近年来场论的发展中拓扑概念占了很重要的位置。

(10) 几何模型

自 1967 年以来,杨振宁和邹祖德、阎爱德发展了高能碰撞中

的几何模型。这是一个唯象的理论，与角动量守恒有密切关系。20多年来这是一个很成功的模型，引导出来许多现在普遍采用的概念，如：裂片，极限裂片，对 KNO Scaling 的解释，对弹性散射的分析等。

2. 统计力学

(1) 自发磁化强度和临界指数

1949年11月初，在一次讨论中杨振宁得知考夫曼已将昂萨格的二维 Ising 模型的严格解简化了。杨振宁对考夫曼用的数学很熟悉，所以终于彻底了解了昂萨格的解。1951年1月，杨振宁认识到考夫曼的方法可以用来计算自发磁化强度，但计算步骤很复杂，他作了他一生中最长的计算[21]，经过6个月的努力，最后得到很简单的自发磁化的表达式，发表了一篇很有名的文章[16]。1952年杨振宁在访问西雅图时建议张承修推广此文，计算一个长方模型中的自发磁化。张承修完成了此工作，发现长方模型与正方模型的临界指数都是1/8，所以在张承修的文章[28]中猜测临界指数有普遍性，可谓开了此重要想法的先河。

那时二维 Ising 模型的理论结果不能由实验证实。80年代以来，由于技术的进步，情况有了改变。1984年陈鸿渭(M. H. W. Chan)做了很漂亮的实验[29]，证明临界指数确是1/8，与理论结果符合。

(2) 液态相变的研究与单位圆定理

Ising 模型工作之后，杨振宁利用他得到的结果讨论了“晶格气体”的相变。1951—1952年间，他和李政道写了两篇关于相变的文章[17]。这两篇文章澄清了液—气相变的基本原因，迫使先前认为这种相变是维利尔级数的性质的物理学家放弃他们原先的想法。

这两篇文章引进了复数挥发度概念，证明了一个很漂亮的

“单位圆定理”。此贡献后来在统计力学和场论里都有很大影响。

(3) 贝特假设的发展

为了研究非对角长程序与“晶格气体”中的量子影响，杨振宁于60年代初回到他曾经研究过的1931年贝特的工作，这一次他和杨振平重新研究贝特的方法⑱。贝特的和后来别人的文章里面的方程十分复杂，不容易看出这些方程的解的性质。杨氏兄弟发现，如果把贝特的 $\cot^{-1}\alpha$ 函数用 $\cot^{-1}\alpha=\frac{\pi}{2}-\tan^{-1}\alpha$ 换成 $\tan^{-1}\alpha$，则可以用连续性的性质控制方程的解。这个很简单的办法导致了贝特方法的重要突破。

1966年到70年代初，杨振宁、杨振平和前者的博士生塞兹兰(B. Sutherland)用贝特方法研究了许多统计力学模型，写了十几篇文章。其中最有名的一篇是上面所提到的杨—巴克斯特方程的那一篇。其他的好几篇文章也都有很多新意，影响甚大，是这一门学科研究方向中的经典著作。

3. 凝聚态物理学

(1) 磁通量量子化的解释

1961年春，杨振宁在斯坦福大学访问了几个月，那时费尔班克和第弗尔正在做超导体的磁通量量子化的实验。这是伦敦和昂萨格分别于1948年和1953年讨论过的问题。可是杨振宁和伯厄斯研究此问题后发现，伦敦与昂萨格的直觉想法虽妙，可是物理论据是不正确的。杨振宁和伯厄斯指出，正确的解释要用波函数的单值性和BCS的超导理论。关于杨振宁和伯厄斯的文章⑲的重要性，请参看文献㉔。

(2) 非对角长程序(ODLRO)的概念

50年代对量子力学中多体问题和超流氦的兴趣使杨振宁领会到玻色—爱因斯坦凝聚的重要性，1961年对超导磁通量量子

化的研究也使他深感超导中BCS理论的重要性,可是杨振宁觉得费米子的玻色—爱因斯坦凝聚这一概念过去没有清楚的分析。于1961—1962年他对此作了深入的研究,写了一篇关于非对角长程序概念的文章[28]。这是一篇既有数学深度又有物理深度的文章,也是杨振宁自觉得意的文章。

(3) 关于阿哈罗诺夫—博姆实验的建议

杨振宁对阿哈罗诺夫—博姆实验的兴趣和他对磁通量在超导圈中量子化现象的研究,使他在ISQM的会议(1983年)上建议[29]外村彰(A. Tonomura)用超导圈做阿哈罗诺夫—博姆实验[30]。此一建议导致了外村彰1986年的极漂亮的实验,到1991年为止,它是最准确的阿哈罗诺夫—博姆实验。

4. 物理学史

杨振宁写了不少关于近代物理学的发展与关于爱因斯坦、薛定谔、韦耳等人的工作的科学史文章。他认为对于中国近代物理学先驱们的工作,以往的介绍不够准确,或失之笼统、或失之幼稚。为此,近年来杨振宁有意识地在这方面做了一些努力,与本文作者合作写了一篇关于赵忠尧先生的文章,一篇关于王淦昌先生的文章。他认为这一类工作还应该多做。

杨振宁的特征、个性、为人

杨振宁的工作最引人注意的特征是眼光深远,善于做一二十年以后才为别人注意的题目。1954年关于规范场的工作,在20多年以后大家才认识到它的奠基性的价值。1967年的杨—巴克斯特方程,也几乎20年以后才被大家认识。并且这两项工作都会在今后几十年内继续发生重大影响。选择做这种工作的秘诀在哪里?本文作者曾以此就教于杨振宁。他说,第一,不要整天跟着时髦的题目转,要有自己的想法。第二,要小题目大题目都

做。专做大题目的人不容易成功，而且有得精神病的危险。规范场虽然是大题目，可是 1967 年做的杨—巴克斯特方程却是小题目。那么小题目怎么变大了呢？这就是第三，要找与现象有直接简单关系的题目，或与物理基本结构有直接简单关系的题目。杨—巴克斯特方程之发现，起源于公式(3)的问题，那是最简单的、最基本的量子多体问题。研究这种问题，容易得出有基本价值的成果，研究这种问题的方法，容易变成有基本价值的方法。

本文作者问杨振宁，在他的研究经历中有没有失败的地方？他说当然有，最重要的是他在 60 年代没有掌握对称性之自发破缺的重要性。“我那时不喜欢自发破缺，有一套原因，现在看起来是错的，在我的《选集》[21]一书的第 67 页上有关于此点的讨论。”

杨振宁喜欢做开创性的工作，喜欢走进新领域。这种取舍是否有缺点？杨振宁说：“当然有，不过天性如此，不能勉强。”

1986 年 6 月 4 日杨振宁在北京和许多研究生谈话，讲到他认为做物理研究之三要素[22]是三个 P：Perception，Persistence，Power，即眼光、坚持与力量。（他解释，三者缺一不可，但以眼光与力量为较重要，有了此二者，坚持是自然的事。）依据这个看法我们衡量杨振宁的工作，发现确实是三者俱备：他的眼光深远是惊人的，他的坚持能力可以从规范场的工作和 1952 年自发磁化强度的计算看出，他的力量则在许多工作中显示出来。1956 年的宇称不守恒工作充分显示出他分析物理问题的力量；1962 年关于非对角长程序的文章，则同时显示了他研究物理、研究数学的力量。

杨振宁常常向他的学生们讲直觉的重要，而且强调直觉是可以经过训练而加深的。他说一个人，无论是大学生、研究生、教授，都应当培养自己的直觉、相信自己的直觉。如果发现直觉与现象或原理或新知识冲突，那是最好的深化自己直觉的时候，这

时如果能把冲突原因弄清楚，会有更上一层楼的效果。这是不容苟且的事情，马马虎虎、随随便便就相信书上的或别人的话的态度是要不得的。

古人说"文如其人"，用在杨振宁身上很恰当：认识杨振宁的人都知道他待人以诚，从不投机取巧、仗势欺人或哗众取宠。看他的文章也有同样的感受。他的文章里没有花言巧语，没有故弄玄虚，没有无的放矢，处处都是真枪实弹地打硬仗。他的文章有的写得很容易读，例如关于宇称不守恒的那一篇，可是在数学用得多的文章中他通常写得太浓缩，使读者望而生畏，例如非对角长程序一文则很不容易了解。显然他在写后一类文章时把数学推理放到第一位，而把读者的感受放到末位。

杨振宁喜欢陈师道《后山诗话》中讲的"宁拙毋巧，宁朴毋华"，他说这也是他喜欢的做学问的态度。

杨振宁的科学论文虽然有时嫌过于浓缩，但从不给读者仓卒成稿的印象。关于这一点，最好的例子是前面提到过的二分量中微子理论。那时先后有三篇文章发表：萨拉姆的、朗道的、杨振宁与李政道的，三者的主体结果是一样的，可是杨振宁、李政道的文章旁及其他问题，考虑周详，尤其重要的是他们讨论了细致平衡，从而指出当时的中微子截面实验结果是错误的。这是其他两篇文章没有考虑到的。杨振宁写论文是很谨慎的，这也许是他在1983年出版的他的《选集》[24]的序中引用杜甫的诗句"文章千古事，得失寸心知"的原因吧。

杨振宁喜欢帮助别人，在芝加哥大学做研究生时(1946—1948)，就已经是有名的学生—老师。在1985年，他的同班同学斯坦伯格(J. Steinberger)回忆那时的情形，这样描述："在我们中间最令人印象深的学生—老师是杨振宁，他来自战时困境中的中国，虽然只有24岁，可是已经熟悉了全部的近代物理。"[25]米尔斯

在一篇关于他和杨振宁1954年怎样合作的文章[②]中写道:"(我)与杨振宁在同一个办公室工作。杨振宁当时已在许多场合中表现出了他对刚开始物理学家生涯的年轻人的慷慨,他告诉我关于推广规范不变性的思想……。"

杨振宁的研究生数目不多。他在普林斯顿高等学术研究所时没有研究生,他后来到了石溪,许多人以为他会收很多研究生,可是他没有。他说他不是"帝国的建造者"(Empire Builder),而且他"没有很多好题目给研究生做"。迄今跟他做博士论文的不到10人,其中最有名的是赵午(Alexander W. Chao),杨振宁说他很得意的一件事是1974年赵午得到博士学位前后,他硬迫,或几乎硬迫赵午改行去研究加速器理论。杨振宁回忆说:"赵午能力很强,可是我说粒子理论一行里粥少僧多,每年每人能做出有意义的结果很少。相反地,加速器原理里面有很多问题,可是年轻人都不晓得这一行,不知道其中粥多僧少。"赵午改行后极为成功,很快即闻名于世界。

原始文献:

① 杨振宁,《读书教学四十年》,香港三联书店,1985。

② C.N. Yang and R. Mills, Isotopic spin conservation and a generalized gauge invariance, *Phys. Rev.*, 95(1954),2,p.631.

③ C.N. Yang and R. Mills, Conservation of isotopic spin and isotopic gauge invariance, *Phys. Rev.*, 96(1954),1,pp.191—195.

④ T.D. Lee and C.N. Yang, Question of parity conservation in weak interaction, *Phys. Rev.*, 104(1956),1,pp.254—258.

⑤ C.N. Yang, Some exact results for the many-body problem in one dimension with repulsive delta-function interaction, *Phys. Rev. Lett.*, 19(1967), 23,pp.1312—1315.

⑥ C.N. Yang, S matrix for the one-dimensional N-body problem with

repulsive or attractive delta function interaction, *Phys. Rev.*, 168(1968), 5, pp. 1920—1923.

⑦ T.D. Lee, M. Rosenbluth and C.N. Yang, Interaction of mesons with nucleons and light particle, *Phys. Rev.*, 75(1949), 5, p.905.

⑧ E. Fermi and C.N. Yang, Are mesons elementary particles?, *Phys. Rev.*, 76(1949), 12, pp.1739—1743.

⑨ T.D. Lee and C.N. Yang, Charge conjugation, a new quantum number G and selection rules concerning a nucleon-antinucleon system, *IL Nuovo Cimento*, 10(1956), 3, pp.749—753.

⑩ T.D. Lee, Reinhard Oehme and C.N. Yang, Remarks on possible noninvariance under time reversal and charge conjugation, *Phys. Rev.*, 106 (1957), 2, pp.340—345.

⑪ T.D. Lee and C.N. Yang, Parity nonconservation and a two-component theory of the neutrino, *Phys. Rev.*, 105(1957), 5, pp.1671—1675.

⑫ T.D. Lee and C.N. Yang, Theoretical discussion on possible high-energy neutrino experiments, *Phys. Rev. Lett.*, 4(1960), 6, pp.307—331.

⑬ Tai Tsun Wu and C.N. Yang, Phenomenological analysis of violation of CP invariance in decay of K^0 and $\overline{K}^0$, *Phys. Rev. Lett.*, 13(1964), 12, pp. 380—385.

⑭ C.N. Yang, Integral formalism for gauge fields, *Phys. Rev. Lett.*, 33(1974), 7, pp.445—447.

⑮ T.T. Wu and C.N. Yang, Concept of nonintegrable phase factors and global formulation of gauge fields, *Phys. Rev.*, D12(1975), 12, pp. 3845—3857.

⑯ C.N. Yang, The spontaneous magnetization of a two-dimensional Ising model, *Phys. Rev.*, 85(1952), 5, pp.808—816.

⑰ C.N. Yang and T.D. Lee, Statistical theory of equations of state and phase transitions, Ⅰ. Theory of condensation, *Phys. Rev.*, 87(1952), 3, pp. 404—409; T.D. Lee and C.N. Yang, Ⅱ. Lattice gas and Ising model, *Phys.*

Rev.,87(1952),3,pp.410—419.

⑱ C.N. Yang and C.P. Yang, One-dimensional chain of anisotropic spin-spin interactions, Ⅰ. Proof and Bethe's hypothesis for ground state in a finite system, *Phys. Rev.*, 150(1966), 1, pp.321—327; Ⅱ. Properties of the ground state energy per lattice site for an infinite system, *Phys. Rev.*, 150 (1966), 1, pp.327-339, Ⅲ. Application, *Phys. Rev.*, 151(1966), 1, pp.258—264.

⑲ N. Byers and C.N. Yang, Theoretical considerations concerning quantized magnetic flux in superconducting cylinders, *Phys. Rev. Lett.*, 7(1961), 2, pp.46—49.

⑳ C.N. Yang, Concept of off-diagonal long-range order and the quantum phases of liquid He and of superconductors, *Rev. of Mod. Phys.*, 34(1962),4, pp.694—704.

㉑ C.N. Yang, *Selected Paper 1945～1980 with Commentary*, W.H. Freeman and Company, 1983.

㉒ C.N. Yang, Gauge fields, electromagnetism and the Bohm-Aharonov effect, in: Internatinal symposium on foundation of quantum mechanics, 1983, Physical Soc. of Japan, 1984, pp.5—9.

㉓ 杨振宁,《几位物理学家的故事》,见本书第530页。

研究文献:

㉔ F. Bloch, Off-diagonal long-range order and persistent currents in a hollow cylinder, *Phys. Rev.*, A137(1965),3, pp.787—795; Simple interpretation of the Josephson effect, *Phys. Rev. Lett.*, 21(1968), 17, pp.1241—1243; Josephson effect in a superconducting ring, *Phys. Rev.*, B2(1970), 1, pp.109—121.

㉕ 李炳安,《物理学的精髓——九组方程式》,《自然杂志》,13(1990), 10,第666页。

㉖ J. Steinberger, *Pions to quarks*, ed. by L. Brown, M. Dresden and

L. Hoddeson, Cambridge, 1989, p. 307.

㉗ R. Mills, Gauge field, *Am. J. Phys.*, 56(1989), 6, pp. 493-507;《规范场》,《自然杂志》, 10(1987), 8, 第 563～577 页。

㉘ C. H. Chang, The spontaneous magnetization of a two-dimensional rectangular Ising model, *Phys. Rev.*, 88(1952), 6, p. 1422.

㉙ H. K. Kim and M. H. W. Chan, Experimental determination of a two-dimensional liquid-vapor critical-point exponent, *Phys. Rev. Lett.*, 53(1984), 2, pp. 170—173.

㉚ A. Tonomura, Evidence for Aharonov-Bohm effect with magnetic field completely shielded from wave, *Phys. Rev. Lett.*, 56(1986), 8, pp. 792—795.

(作者在写这篇文章时得到很多人的帮助。感谢杨振宁教授给予多方面的协助,感谢托尔教授、马伯格教授、葛墨林教授、阎沐霖教授、忻云龙教授的帮助。本文原载《中国现代科学家传记》第 3 集,科学出版社,1992 年。)

我所知道的杨振宁
——1982年9月在合肥的演讲

聂华桐(H.T.Nieh)

今天很荣幸能够到这儿来跟大家见面，介绍一下杨振宁先生的治学和成就，以及他的为人。大家都知道杨先生是安徽省合肥市人，我来到这儿感到特别亲切和高兴。我跟杨先生相识16年了，对他的做人以及做学问的态度，对他的成就有一点了解，今天就借这个机会向大家作个介绍。

一、根

杨先生于1922年9月22日出生在合肥。6岁以前是在合肥度过的，后来随父母到厦门、北京。抗日战争开始后，他全家又从北京回到合肥，然后经武汉、香港、越南的海防抵达昆明。他16岁时以同等学历考进了那时在昆明的西南联大，开始念化学，因为那时他物理还没学过，直到进了西南联大以后才对物理发生兴趣。他是1938年进西南联大，1942年毕业的。年纪稍大一些的人也许经历过抗战时期，那时的确是非常艰苦的，而且辗转各地，生活很不安定。西南联大的校舍非常简陋，可是教员和学生的教学和学习热情却非常高。杨先生一再跟我谈起，而且还给我看了一些照片，可以看出那时的物质条件实在非常艰苦，比现在的中国科学技术大学可以说是差得很多很多。可是师生们却以

那样高涨的热情来教书和读书。按我的想法，他们那样努力，绝不是仅仅为了个人，而是为了整个国家，有使命感。不然的话，很难想象在那么艰苦的条件下，教员那么用心教，而学生又那么用心读。

1942年，杨先生从物理系毕业，他的毕业论文是跟联大的教授吴大猷先生做的。也许在座的有些人还记得吴先生，他那时做的是关于分子光谱方面的工作。他就让杨先生用群论的方法把分子光谱的一些问题搞清楚。所以杨先生当时对群论、对对称性等有了一些基本的了解。杨先生以后一再讲他自己所做的工作，比如关于宇称不守恒以及后面要讲到的规范场都与那时侯的学士论文有一定的关系。杨先生在西南联大毕业后继续留在那里做硕士研究生，那时他的导师就是现在北京大学的王竹溪先生。当时王先生刚从英国回来，他的专业方面的工作是统计物理。所以杨先生的硕士论文是统计物理方面的工作。杨先生后来在统计物理方面也有很大的贡献，到了美国以后做了很多工作。他自己常常讲，他在统计物理方面的工作，根源可以追溯到在西南联大跟王先生做论文的那一段时间。他一再讲，他自己这一生在物理上的见识、视野、鉴赏能力，以及对物理的基本态度，可以说是年轻时在中国奠定的基础。我强调这些是要使大家感觉到只要有条件，自己肯努力，又能够有合适的发展的机会的话，中国是能够出很多人才的。杨先生在西南联大的时候，条件那么艰苦，但是他掌握住了物理的基本精神。由于在西南联大受到的教育，到美国以后结出了硕果，而根是在中国，杨先生一再提到这一点，从中国去石溪访问的好几位物理学者也常常听到杨先生这样讲。杨先生对自己的“根”从来没有忘记过，他身在美国，心里对中国的情形是非常记挂的，一直关心中国各方面的发展。

二、芝加哥大学和普林斯顿

杨先生是1945年去美国的。可能大家知道那时有一个清华基金，是美国用庚子赔款的钱设立的一个基金会，接受中国学生到美国去留学。当时杨先生考取了物理系的一个名额，去美国念研究院。他于1945年离开中国经过印度，然后坐船到美国。到美国时已经是1945年的冬天了，所以他于1946年的春天开始在芝加哥大学做研究生，学物理。那时的芝加哥大学是第二次世界大战后美国一个有名的物理研究中心，原子堆就是费米在芝加哥大学研究发展出来的。杨先生到了芝加哥大学以后，感到自己比较缺少训练的是在实验方面，因为在西南联大那种物质条件下做实验非常困难，因此就决定在实验物理方面做他的论文。从1946年到1948年，他就在实验室里工作近2年，一方面做实验，一方面也继续在理论方面做一些工作。可是杨先生在实验工作方面的进展并不很顺利，将近2年的时间，没有做出十分理想的工作。当时芝加哥大学还有一位教授，叫做泰勒，也是一位很有名的物理学家，在美国号称氢弹之父，氢弹就是在他主持下研制出来的。泰勒对杨先生非常赏识，他对杨先生说，你既然已做了将近2年的实验，现在看来还不是很有头绪，那你还是转回来做理论工作好了。的确，当时在芝加哥大学，杨先生在理论方面是高人一等的，他对新发展出来的许多理论工作都有相当多的了解。当时芝加哥大学最有名望的是费米教授。据传说，当费米不在的时候，同学有了问题就去找杨先生。由于他自己在西南联大的根基以及他后来的不断努力，他在芝加哥当学生的时候已远远超出同辈同学的水平了。

杨先生在1948年接受了泰勒的劝告，用已完成的理论工作当毕业论文，在1948年夏天取得博士学位。由于杨先生学业上

出众，芝加哥大学把他留下来任教。一年以后，又转到了普林斯顿高等研究所工作。当时的普林斯顿高等研究所是爱因斯坦所在的地方，那里还有其他几位世界著名的物理学家。他到普林斯顿以后做了一连串重要工作，粒子物理、统计物理方面的工作都是非常重要的。因而他在普林斯顿高等研究所很快就从短期转成了比较长期的工作，最后留下来做教授了。

三、获诺贝尔奖的宇称研究

杨先生和李政道先生合作开始于 1949 年。李政道先生是 1946 年到芝加哥大学的，比杨先生年轻几岁，班次也晚几年。杨先生先去了普林斯顿高等研究所，李先生后来也到了那里。从那个时候开始，他们就有了非常密切的合作，在基本粒子物理、统计物理方面，他们都有很重要的贡献。在他们开始合作以后不久，美国一些新的高能加速器造出来了，发现了一些新粒子，有一些非常令人迷惑的现象，对这些现象原有的物理理论不能解释。所以在 1953—1955 年间，这种种现象和问题就成为当时基本粒子物理中最使人关心的问题。有各种各样的讲法，各种各样的猜测，各种各样的理论，都想要解释这些令人迷惑的现象。杨先生和李先生他们共同从各种不同角度去推敲，想办法来解决这问题。搞物理的人原来最相信的原理之一就是所谓宇称守恒原理。所谓宇称守恒，是说物理规律在最深的层次上是不分左右的，左边和右边没有区别的。大家一致相信这是物理学中一个最基本的原则。当时他们就很大胆地设想，如果不接受宇称守恒这个假设，那么很多令人迷惑的现象就不会使人感到迷惑，问题就可以解决了。但是提出这个猜想还不够，还必须能够证实这个猜想。他们对当时已有的物理工作做了很仔细的分析，提出了几个根据当时的情形可能做得出的实验来验证他们这个猜想。吴健雄先

生和她的几个合作者立即着手去做，而且很快把实验就做出来了，证实了他们的猜想是对的。这是1956年的事情，这件事对整个物理学界轰动很大。当他们最初提出宇称可能不守恒的时候，世界上一些最有权威的理论物理学家都是不信的，实验的结果出来以后，不信变成了惊讶和赞美。实验证明了杨、李的猜想是对的，同时也说明了科学的进展有时候要靠年轻人不顾权威的反对，大胆提出新的见解。当然，新见解不能是个空的见解，而要经得起检验。杨、李的见解轰动了物理学界，成了以后物理学中弱作用理论的基石。由于这一工作，杨振宁和李政道共同获得了1957年诺贝尔物理学奖金。

四、统计物理和高能物理

大家也许有个印象，以为杨先生在物理学上的贡献就是这个宇称不守恒。的确，这是杨先生在物理学中一个很突出的贡献。可是杨先生对物理学的贡献不只是这一个方面，他在其他方面还有很重要的贡献。我在这里简单介绍一下。

首先是统计物理方面。他从在西南联大跟王竹溪先生做论文的时候起就对统计物理感兴趣，到普林斯顿高等研究所以后，又有了一些新的发展。这个新发展是基于1944年化学家昂萨格所做的有关统计物理的一个很重要的工作。昂萨格的结果是非常不容易懂的，而且他怎样得到那个结果也是非常不清楚的。大家都觉得他的结果是对的，而其中的一些道理却又弄不太清楚，于是杨先生就着手对这个工作进行研究。他对我说过，他在这个工作中所花的工作量远远超过他的其他工作，杨先生花了一年的时间推出了昂萨格的结果，物理意义弄得很清楚，数学上处理得也干净。他这篇文章是1952年发表的，现在变成了一篇经典性的文章。杨先生在统计物理方面除了刚才提到的那件工作以外，

在以后十几年里，他和李政道先生、黄克孙先生、吴大峻先生、还有杨振平先生（杨先生的弟弟）分别合作，做出了相当重要的工作，所以他在统计物理中有很高的地位。再一方面，他在高能物理领域的贡献也很重要，其中之一是他和他的合作者对高能粒子碰撞现象的研究。60 年代以来，在美国以及在西欧有了能量较高的加速器，记录了许多新的数据。杨先生和他的几位合作者（如吴大峻、邹祖德）用比较简单的几何图像分析了这些高能物理中散射数据，得到了很好的结果。

五、最高成就——规范场

我最后要介绍的就是所谓规范场。大家都知道电磁学的基础就是那组麦克斯韦方程式。那组方程式有一个性质叫做规范不变性，所以最早关于规范场的理论就是电磁学。电磁学加上量子力学就成为量子电动力学，这个理论无论在实验上还是理论上都越来越证明它是正确的，现在被公认为是最成功的一个物理理论之一。到了 50 年代，实验上又发现了其他的一些现象，这些现象相当于某些相互作用具有同位旋不变的性质。同位旋是一个守恒量子数，性质和电磁场中电荷守恒有些类似。杨先生由此就问为什么不可以把同位旋守恒的性质也变成一个规范场的理论呢？他告诉我，他在做学生的时候就在考虑这个问题。1954 年把这个问题解决了，提出了现在所谓的非阿贝尔的规范场理论。他和米尔斯两人最初写出这篇文章时并不受重视，因为其中还有很多问题没有解决，物理的发展也还没有达到需要它的成熟阶段，许多现象还没有在实验中发现。但这一情形慢慢在转变。到了 60 年代，由于实验的进展，对弱相互作用的现象的知识越来越多，于是大家想要找到一个弱作用的理论。弱作用是人们研究已久的一种相互作用，比如 β 衰变，μ 子的衰变等，都属于弱作用的

范围。十几、二十年来，理论物理中一个很重要的尝试就是寻找这样一个完整的弱作用理论，可是一直没有成功。到了60年代，最初是一个叫格拉肖的物理学家，继而一个叫温伯格，一个叫萨拉姆的物理学家，首先引用了杨先生1954年写的这篇文章中的数学结构，即非阿贝尔的规范场理论的数学结构，来构造一个关于弱相互作用的理论。这些文章在当时也没有受到重视，一直到1970年和1971年，在温伯格、萨拉姆提出的模型上，又有人做了很重要的理论工作，弄清了这个模型的细节，从而使大家认识到了这个理论的确是站得住脚的。不久，在美国以及在西欧的原子研究中心做的一些实验也证实了这个理论所作的一些预测。于是，在1970年和1972年的时候，大家认为这个弱相互作用的理论已经找到了，而这种弱相互作用的基础就是杨振宁和米尔斯所提出的杨—米尔斯规范场。1954年，杨先生和米尔斯写出文章时，杨— 米尔斯规范场不被物理界承认为物理，而只是一个数学结构，是一个可能对物理有用的数学结构，但到1972年，这个非常简单而又非常漂亮的数学结构被正式承认是物理的一个基本结构了，并最后奠定了弱相互作用的基础。

从物理基本规律看，相互作用可以分为四类。一类是电磁作用，根基是麦克斯韦方程组。另一种是万有引力，比如太阳和地球之间的吸引力，万有引力理论，现在当然公认爱因斯坦的理论最成功。而弱作用理论的基本数学结构是由杨先生和米尔斯所提出的，所以从长期的物理发展的观点来看是非常重要的一个贡献。还有一种相互作用是强作用。这种强作用是指什么呢？我们都知道原子核是由质子和中子组成的。现在有很多实验的结果来支持我们相信这些中子、质子里面还有更小的东西，在中国叫做层子，大家给它一个名字，叫“夸克”。在夸克和夸克之间的作用决定物质基本结构的形成，这种作用是一种很强的作用，把

“夸克”合起来形成质子和中子，这种作用就是我们所说的强作用。好多年来，许多人一直在摸索，企图找到一个合理的强作用理论，但没有成功，直到大约十年前，由于弱作用理论获得成功的刺激，有人提出了强作用也是一种杨振宁—米尔斯规范场作用。虽然这还是一个没有最后证实的理论，但在现存的理论中，是成功可能性最大的一个理论。我想在我们这一行当中，大多数人都是接受这个说法的。这就是说，杨振宁—米尔斯非阿贝尔规范场的数学结构也是强作用理论的基本结构。这样看来，电磁作用、万有引力作用、弱作用和强作用，这四种基本的相互作用中就有两种是基于杨振宁—米尔斯非阿贝尔规范场的数学结构。从这一点大家就可以了解到杨先生的这一个贡献是何等了不起。由于这一个贡献，再加上其他种种成就，杨先生现在在世界物理学界的地位是非常崇高的。我们常常可以听到一些物理学家的名字，像麦克斯韦、爱因斯坦，量子力学初建时的海森堡、薛定谔以及狄拉克。现在再要往下排的话，我想杨先生的名字就要算在里面了。大家知道，格拉肖、温伯格、萨拉姆以杨—米尔斯数学结构为基础所提出的弱作用理论，为越来越多的实验所证实，三年前他们得到了诺贝尔奖金，现在强作用理论也用杨—米尔斯场作基础，因此有些美国朋友在议论杨先生是不是应该得第二次诺贝尔奖金。这并不是一句开玩笑的话，假如他没有得第一次诺贝尔奖金的话，我想他与米尔斯的这个工作是足可以获得诺贝尔奖金的，因为这个工作的重要性不是局限在一个小范围内，而是整个物理学的长期发展中的一个环节。60 年代，当杨—米尔斯非阿贝尔规范场理论还没有被接受为真正的物理的时候，杨先生在物理学里的贡献已经就了不起了，在杨—米尔斯结构逐步被证实为弱作用以及强作用基本结构的今天，杨先生的声望一天比一天高，现在世界上和他的贡献相当的理论物理学家不是很多的。加

州大学有一个相当有名的物理学家，叫 Segrè，前年他写了一本比较通俗的科技书，介绍从 X 射线起直到最近的一些物理学上的发展，是一本写得很生动的书。在谈到物理学家时，他认为在这几十年中可以算作全才的理论物理学家有三个，一个是费曼，现在 65 岁，在加州理工学院，是个声望很高的物理学家，在很多方面都有很重要的贡献。第二个是一个俄国人，叫朗道，这个人也是个全才，在多方面有很重要的贡献，对各方面的见解也很深刻。第三个就是杨先生，杨先生在理论物理的许多方面都有很重要的贡献，而现在看来，最重要的贡献就是杨—米尔斯非阿贝尔规范场理论。我自己想了想，觉得这三个人当中，朗道虽然是很聪明的一个人，而且对物理学有很深刻的了解。但从基本贡献来讲，他不能比得上杨振宁和费曼。我以为在目前还健在的物理学家当中，贡献最大、最了不起的是狄拉克，再往下数就应该是杨振宁，还有费曼这些人了。所以杨先生在国外华裔的心目中是一个骄傲，他在物理学上的成就是十年、二十年或是三十年中都不容易出现的。他能够取得这么多成就，与他自己的才华，与他自己的努力，与他的境遇都是有关系的。在国外，我们讲到杨振宁以及他的成就的时候，心里都是很骄傲的。同时由于他的成就太大，对我们这一辈人也产生了很大的压力，压力在于我们要接近他的水平，甚至就只是做出像他所做的一小部分都是做不到的，我想国内的许多物理学者也都会同意我这个讲法的。

六、血浓于水

我前面讲过，杨先生是牢记根本的一个人，对中国有非常深厚的感情。他常常谈起在中国生活学习的那些日子，对于抗日战争期间流离失所的情景记得非常清楚。多年来和他相处，我深深感到他对中国的关心，关心中国人的生活是不是在改善，关心中

国的科学技术是不是在朝着正确的方向发展，关心培养中国的人才，关心中国的前途。对于在美国的中国人，他也在可能的范围内，尽力扶助，不仅我们这批知识分子，就是在华侨社会的人，也都得到了他的帮助。这种血浓于水的感情，对于中国的那种骨肉之情，在我和他相处的 16 年里，是深深地感受到了的。我常常想，杨先生从来没有忘记过自己是个中国人，他留在美国，心里一定有很多矛盾的。他 1945 年到美国，一直到 1964 年才归入美国籍，拖了近 20 年，可见他并不是很安然加入美国籍的。1971 年，中美关系稍有松动，他马上就决定回中国来看一看。回到美国以后，他对中国的情形作了很多报告。由于他的名望和地位，他的作风和为人，他的演讲和报导在美国社会起了很大的作用。在当时中美关系还没有解冻的情况下，他这样做，是担了相当大的风险的，但他认为正面报导中国在各方面的许多发展是他的义务。由于他在学术上的地位，他经常到欧洲、南美洲、东南亚、日本等地去讲学或访问，大家往往都要求他作关于中国的情况的报告，他的报告在这些地方，尤其是对当地的华侨产生了很大的影响。许多美国人、尤其是科学家对中国持友好的态度，愿意同中国亲近，杨先生的功劳是非常之大的。杨先生还花了不少时间，尽力为在美国的华人做些事情。譬如，在美国有一些华裔认为美国的华人不够团结，于是组织了一个全美华人协会，发起人中有何炳棣教授(他是芝加哥大学历史系的，在美国史学界声望很高)、有任之恭教授，等等。他们认为在美国的中国人应该联合起来，对中美关系的改善作出贡献，对于在美国的华裔社团能有所帮助。在华盛顿举行筹备会议时，他们邀请杨先生参加，并推选杨先生做主席。杨先生开始时考虑到学术工作忙，很难抽出很多时间去做这方面的工作，再三推辞，可是协会的人认为杨先生在美国华人里声望最高，杨振宁这名字也是在美国社会里为很多人所熟悉

的，一再坚持要杨先生做主席。是在这种情况下，杨先生做了这个协会的主席。对他个人做学问来说这是一个牺牲。这个协会建立以后做了大量的工作，在宣扬中美人民之间的友谊，促进中美建立邦交等方面发挥了作用。譬如，在中美建交之前，全美华人协会在报纸上发表声明，极力主张中美正式建立邦交。此外，以杨先生为主席的全美华人协会还尽力去促进美国华人的团结。在美国几个华人集中的地方有所谓“中国城”，像在纽约、旧金山、洛杉矶、夏威夷，就有“中国城”。在“中国城”的人，很多是以前到美国去做苦工的那一批人的后裔。“中国城”里，有不团结的现象，杨先生花了不少时间，费了不少力，设法来把华侨社会团结起来，一方面能为华侨自己争取福利，另一方面也能为中美之间的交流作出更多的贡献。

七、治学：才智和个性的融合

下面就杨先生的治学态度和精神，谈谈我的感想。大家都知道，杨先生的成就是很大的，不夸张地说，近几十年来在科学里有这么大成就的人为数不是很多的。但如果说这由于他是个天才，我看就流于浮面了。我认为他今天能有这么大的成就，是他的个性和才智融为一体的结果。当然，杨先生的才智很高。但是为什么世界上许多聪明的人没有作出贡献而他作出了贡献呢？我个人认为，这是因为他性格中的很多成份不是许多其他人所具有的。我常常和一些朋友，谈起这些事情。我所能得出的结论就是，杨先生具备一些一般人不能同时具有的性格。

杨先生是非常实在的一个人，他做的工作都是扎扎实实的，他自己从来不做虚功，不做表面文章。他的工作都是有内容的，而且这些有内容的工作都是他反复慎重考虑过后做出来的。讲求实际效果，实实在在，这是他的一个性格。但通常一个非常实

在的人往往容易缺乏想象力；同样地，一个想象力丰富的人又不容易很实在，往往容易变得想入非非，想些不切实际的事情。可是杨先生一方面很实在，另一方面又有十分丰富的想象力，这是他很重要的一个特点。

杨先生的兴趣非常广泛。他对中国的古典文学、中国的历史，对传记和考古——中国的以及埃及和其它许多地方的考古等等都了解得很多，而且他也爱好音乐、艺术和摄影。前面讲到杨先生在物理方面的兴趣也是广泛的，在统计物理领域，在万有引力理论方面，在强作用与弱作用的理论方面，他都有兴趣，他对纯理论的东西有兴趣，对实验的东西同样也感兴趣。这是他的一个特征。多方面的兴趣使他随时都在吸收新的东西。而在这同时，他又能够坐下来做工作，做很深入的工作。一般说来，兴趣太广了往往难以收下心来对一件工作钻得很深。杨先生令人惊讶的一点就是：他对多方面的事情深感兴趣，而同时又能坐下来就很多问题进行深入研究，并且作出重要的贡献。杨先生对我说过，他感到国内经常使用的一些字眼并不是很恰当的，比如“十年寒窗”的提法，要学生苦读。他认为假如一个人读书觉得很苦的话，要把学问做得好，要出成果，恐怕是很困难的。你对一件事情有兴趣，你才有可能在这件事情上取得很大成就。一个人要出成果，一个因素就是要顺乎自己的兴趣，然后再结合社会上的需要来发展自己的特长。如果你做一件工作感到非常苦，那是不容易出成果的。对杨先生来讲，做学问是一种乐趣，我从未见到他做学问的时候感到苦恼，“十年寒窗，埋首苦读”，不是他的形象，他是顺其自然，发展自己的兴趣。他很自然地对很多东西发生兴趣，随时都在观察，随时都在提问题，随时都在思索答案，这就是他能够对很多问题都有深刻了解的原因所在。他对随时随地提出的问题都有一个见解，一个答案，成年累月积累下来，知道的东

西越来越多，了解得也越来越深刻，难怪每个人一跟他接触都会感到杨振宁懂得那么多，了解得那么透彻，好象什么事情比你本行懂得还多！这一点对发展国内的教育是一个很重要的启发。我们这些人，包括杨先生在内，有这么个感觉，就是国内教育比较窄一些，主要注意的是灌输知识。而比较不注重发展学生的兴趣，多学习些，当然很好，可是假如能改变一点，除了灌输知识以外同时又能提高学生的兴趣，我想收到的效果，从长远的观点来看是不可估量的。我对中国科学技术大学（以下简称科大）的一些朋友讲，科大招收了优秀的学生，不需要担心学生学得不够，我提倡科大最好把课程都放松一点，不要使学生一天到晚就是为了分数去忙，让学生能够自由发展，能够多想些问题，多问些问题，多做些有创造性的事情。培养了兴趣，养成了思考的习惯，这对以后的发展，对一个人的成长关系重大。每当杨先生对我讲起这类问题的时候，我很快就体会到他的心情是什么。一个人要用功读书，这是对的，可是除了用功之外，还要提倡能够想办法发展每个人的兴趣，有了兴趣，“苦”不是苦了，而是乐。假如到了这个境地，我想很多工作就比较容易出成果了，很多事情就不单单是靠尽责任、尽义务去做了。今天在坐的有许多是大专院校的老师或是负责教育工作的，我特别在这里向大家呼吁，在教学方面最好是能够提高学生的兴趣，去启发他们，让他们自己去发展自己的知识而成才。

我再谈谈杨先生另外一个很突出的品质。我想这种品质对于发展科学技术、发展学术以至做任何工作都是很重要的。这个品质就是诚实。一般来讲，诚实往往是指人与人之间相处的那种诚实，在这个意义上讲杨先生当然是诚实的，他对人坦诚，不会虚伪的一套。可是我觉得更重要的是他对自己诚实。我为什么讲这一点对一个人做学问很重要呢？做研究工作的人都会了解，当

一件事情是未知的时候，常常是非常混乱的一个局面。要从一个非常混乱的局面中把一个正确而且真实的东西找出来，假如你不是一个对自己很诚实的人，那是不容易做到的。比如你用枪打鸟，你拿着枪拼命乱开是打不到的，只有枪对准了才可能打到鸟，做学问也是如此。诚实是做学问的基本要求，有些人容易自我欣赏，自鸣得意，甚至于自欺欺人，这就很难抓到真实的东西。一个人只有对自己非常诚实，总是对自己怀有疑问，常常更正自己的见解和观点，常常老老实实地去思考自己在这件事情上做的是对的还是错的，力求抓住事情的本质，才能真的抓到事情的本质，而不仅仅是抓住一些表面的虚像。我认为杨先生具备了这种品质，许多有成就的科学家也都具有这种诚实的品质。

杨先生还有一个特点是大多数人不常有的。一方面，他非常实在，不做表面文章，而另一方面，他的思想又非常容易受到激发，在新的物理现象面前充满激情。比如像宇称不守恒的种种现象，有些人很实在，对那些事实拼命去分析，却不能产生一种"灵感"去考虑一些"打破框框"的解决办法，可是杨先生和李先生就不同，他们想到的是原来认为不可思议的一些可能性，并且有胆量去抓住那些问题。一些人没有这个胆量，太保守了，产生不出新的思想。一方面很实在，另一方面又能够对新现象有激情和灵感，这也是杨先生又一个难得的特征。

我在这里还要再讲一点。做研究工作的人一般来说是很愿意独立思考的，可是有些人会走极端，"独立"到一个程度，不太愿意去了解别人在想什么，不太愿意去读别人写的东西，对别人的工作漠不关心，而只顾自己去独立思考。当然，一个人如果要做重要的工作，独立思考、独立工作的能力是必须具备的，但如果不理会别人的工作，常常就会变成井底之蛙，很多东西看不见了。所以，一个搞学术研究的人还需要能够不断地学习，不断地吸收。

另外一种做学术研究的人，他们很愿意看别人的文章，而且把所有能够看的文章都找遍了来看，学识渊博，很多东西都懂。但如果仅仅去读书，不进行独立的思考，他就没有办法去创造新东西，没办法在科技研究中出新成果 。一个健康的结合是什么呢？那就是既能吸引别人的东西，而自己又具有独立思考的能力和习惯，这一点在杨先生身上得到充分的体现。到过我们那儿访问的人都知道，在讨论会上杨先生是经常提问题的，而且带了笔记本，经常把他认为重要的东西都记下来。他今年60岁了，而且取得了这么大成就，普通人也许不会去听年轻人的意见了，但他却不然。我们每个星期有两三次讨论会，对于有兴趣的讨论发言，他都把它记下来，而且不懂就问。他不了解的，讨论会完了之后他也会找着去问，一直到今天他还保持着谦虚好学的态度。但在另一方面，他对每件事情又都有自己的判断和自己的见解，这种结合也是使他具备了取得成果的又一要素。

八、自勉与希望

我上面提到了杨先生的品质和性格的一些特征及这些性格特征的融合，希望大家，也包括我自己在内，能够从杨先生那里领悟到一些东西。你如果真正要在科学研究方面有点贡献，有一些品质是必须具备的。比较狭窄、比较偏颇的性格往往不容易有大成就。我为什么强调这一点呢？我感到国内在教育方面往往过早地把学生引导到一个方向上去，定在那一点上就不变了。例如，学数学就一天到晚埋在数学里，其它什么事情都不管；学文学的，自然科学就可以不管了；学自然科学的，语文可以不去管了，音乐也不管了。我觉得这不是一条很健康的教育路子。以杨先生为例，他为什么有这么多成就？这不是某一个单一的性格造成的，也不是因为他有超人的能力。杨先生的成就反映才智和个性

的结合。个性的形成是一个长期、全面的过程,和小时候受的教育,和家庭教育、社会的教育,文学的修养、艺术的修养,和你以前多方面的发展都是联系起来的,所有这些东西加起来形成了一个人,所以我在这里借介绍杨先生的成就和他的治学精神的机会向大家呼吁。最好的教育方法是培养年轻人的兴趣,多方面培养他们,让他们得到发展的机会 。安徽是个出人才的地方。我今天介绍的杨振宁也是安徽出的人才 。希望我们大家在教育方面多多努力,让中国、让安徽、让合肥出更多的人才,出更多像杨振宁这样的科技人才。

(作者是美国纽约州立大学石溪分校理论物理所教授。本文是作者于1982年9月在合肥中国科技大学的演讲词,由元方、阎沐霖整理。原文刊中国《物理》13卷6期,1984年。)

杨振宁对我的教育(1966－1969)

B.塞兹兰(Bill Sutherland)

许多人去一所研究机构是为了寻访著名教授。可我正相反，我于1963年就到纽约州立大学石溪分校，比杨教授到石溪还要早三年。T. A. Pond教授那时正在为这所新大学筹建物理系。我是听从他的建议来读研究生课程的。由于苏联人造卫星的首先发射成功，(美国大幅度资助基础科学研究)因此我获得了国家自然科学基金会的奖学金，当时石溪分校刚刚建成开放。在我来到的前一年，研究生宿舍还临时地和物理系在同一幢楼上。当我是华盛顿大学的学生时，就已认识Pond教授。在我所学的物理课程中，他讲得最好，尤为重要的是他给了我一份工作(给他的研究生帮忙，其中之一是我现在的姻兄)。我钦佩他的政治才干，相信他能建成一个杰出的物理系。那时，石溪分校研究生的注册人数几乎每年都成倍增长，从1967年拍的照片来看，大约有64名研究生。

1965年春天，我朦胧地感受到物理系的气氛十分令人兴奋，传闻杨振宁极有可能离开普林斯顿高等研究所，准备接受最近设立的爱因斯坦教授席位，并在石溪建立自己的研究所。老实说，这不关我的事。部分原因是高等研究所和它的职位像神话一样高不可攀，部分原因是我要处理个人生活，将在那年夏季结婚。当校方和杨教授磋商还在进行中时，我记得我正在帮着照看

Pond的儿子Ward。后来,杨教授果真来到石溪。他显得真诚,比我预料中要年轻。他非常和蔼,一点也不觉得可怕(他似乎一直是那个样子)。杨教授很受系内同仁的尊重。当时大家都不知道杨教授有何计划,而我最关心的是,他是否可以带研究生。在杨振宁选集中,他用"踌躇(diffidence)"描述我当时的窘态,"踌躇"实际意味着"羞怯"。那时确实是这样,一直到现在仍是如此。但我还是凭着足够的勇气走进杨教授的办公室,要求他考虑接受我为他的研究生。

1966年,我和杨教授在一起开始做毕业论文。像大多数研究生一样,我对高能物理学感兴趣,并渴望从纽约出版商那里直接购买本杰明(Benjamin)出版社出的一套平装本,其中包括像"雷杰(Regge)极点"这样诱人的课题。但是,杨教授推荐我去研究统计力学。因为这方面的贡献会更持久,而且眼下不是大家关注的热门课题(我想他或许觉得我对人不够强硬,不宜去攻高能物理学)。看来统计力学对我更合适。1966年秋,他向我提出研究建议:阅读他和他的弟弟杨振平合写的有关海森堡—Ising模型的论文,将海森堡反磁铁体的各方面扩展到高温和低温情形;以及阅读李勒(Elliot Lieb)发表在《物理评论通信》(Physical Review Letter)关于冰熵的文献,也许还有其它文献,我只记得这些。

我对第一个和第三个课题感兴趣,但我发现李勒的文章难读。虽然下了不少功夫,但还是吃不透里面的算法。1967年复活节,我和我的妻子Veronica去开普·哈特勒斯海滩,那里是赖特(Wright)兄弟第一次试飞他们第一架飞机的地方,也是美国风力最大的地方之一,当狂风卷着沙子向我们袭来时,我们躲在沙丘后面。霎时,我一下子明白了李勒所采用的方法。如果再借助杨氏兄弟关于海森堡—Ising模型的工作,对任意6顶点模型,我

都能解决！当时我兴奋极了，问题的解答是如此清晰以致我回石溪之前，都没有把它们记下来。

那时，我还是一个缺乏经验的研究生。例如，回来后，我告诉杨教授，我能找到变换矩阵所有特征值。但是我觉得很难把它们加起来计算矩阵的迹（由此获得配分函数）！杨振宁在5分钟内教会我只需计算最大的特征值就行了。他显得异常激动，我想他最初不相信我能做出我所说的那些问题。但我们并排地用各自的方式去做，结果证明是对的。正当我着手整理这些结果时，李勃寄给杨教授一份预印本，内容是给出了F—模型（6顶点模型之一）的一个解。这样，除我自己未发表的结果外，第一个有关在任何温度下的6顶点模型问题已被解决（冰问题是所有6顶点模型在无限大温度下的极限情形）。我急忙将我所得的结果寄往《物理评论通迅》杂志，这项工作后来成为我毕业论文的一部分。几乎与此同时，李勃又将第二个6顶点模型（又称KDP模型）的一个解寄给了《物理评论通讯》。

那年夏天，杨振平正在石溪访问。他发现可以将解法推广到具有水平和垂直场的完全一般的6顶点模型。于是，我们三人一道完成了这项工作的细节，并把杨振平作为我们的合作者发表了这篇论文。

1967年秋，杨振宁在给出自旋空间中贝特（Bethe）假设系数下的精确波函数之后完全解决了具有1/2—自旋相斥δ函数的一维费米子问题。依我看，这种波函数本质上符合空点相当于向下自旋，粒子相当于向上自旋的贝特（Bethe）假设，所以，下一步应是继续地加以无限重复，人就能够解决任何多元系统问题，同时还能避免使用我那时一无所知的杨氏图（Young tableaux）。

现在让我说一点我和杨教授在一起工作的往事。我是他在石溪——也许是包括其它地方在内——的第一个研究生，三年内

一直和他在一起。他似乎有无限的时间化在我身上。有许多日子,我一早赶到学校,想看看杨教授能否抽几分钟和我一起讨论一些观点。我被邀进入后面的办公室,这是一个令人愉快、诱人工作的地方。我们开始讨论,很快各自进入工作状态。他通常使用白色的拍纸簿,我则用黄色的拍纸簿,过了一段时间我们会比较一下记录。杨的秘书偶尔来看看我们是否需要什么东西或杨教授是否想要和人交谈。他有时停下来几分钟去打电话,有时停很长一段时间去会见客人。这时,我总是离开去浏览一大堆新的预印本和一排排书架,或者去看归档的预印本,诺贝尔演讲以及其它材料。他点的午餐是从当地熟食店购买的可口的三明治,并让人送来。午餐期间以及饭后,我们总不停地讨论、研究和比较结果,一直坚持到傍晚,我已是精疲力尽了。就这样日复一日,从来没有如此努力工作,也从来没有如此感到快活。办公室的气氛非常温馨、安静,连空气也充满着智力的亢奋。很多出色的工作得益于那种讨论的氛围,而且,说真的,那种气氛一直到今天仍是出成果的源泉。

我要感谢杨振宁离开普林斯顿高级研究所这座象牙塔,走进一个更广阔的天地。我想这是他一生中非常勇敢的行动。我衷心感谢他给予我比单纯教育和友谊更多的东西。值此 70 寿辰,我祝他万事如意,健康长寿!

(本文作者是美国盐湖城大学物理教授。英文原文见 C. S. Liu and S. T. Yau 编:Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century, International Press. Hong Kong 1995. pp. 221—250,这里译出的是该文的第一段。译者程龙海。)

一点回忆

E. 泰勒(Edward Teller)

振宁,你和我一起度过的那些年,是我一生中最美好的一段时光。这里是关于那时的一些简短回忆,以及我想借机和你进行讨论的一个物理问题,它曾长期让我觉得有点困惑。

当你到达芝加哥大学的时候,我理解你下决心要帮助你的国家——中国——发展物理学。那是在中华人民共和国成立以前的几年。由于我的好朋友,R. 米立根(Robert Mulliken)的推荐,我向你介绍了一个理论物理博士学位的研究课题。但是,你觉得应该做有实际应用的实验工作。于是,你做了你想做的事。

结果是你做得不太顺利。看来你理论上的优异表现远高于你作为实验物理学家所能达到的水平。我甚至听到一个传闻,那是有关你致力于实验物理的一首打油诗,直到今天我还能一字不差地背下来:

"If there is a bang,

it is Yang"

(意为:"那里有爆炸,那就是杨振宁")

过了一阵子,你来到我的办公室,说你读了柯诺平斯基(Konopinski)和我合作的一篇论文——《关于 D+D 反应的理论思考》。在这篇文章中我们表达了关于核反应产物的角动量和角分布之间关联的看法。你说你能加以证明,我就要你把它写下

来，这就是你用不到4页纸写成的漂亮证明。

知道你的情况之后，我建议说，如果再稍微长一些，这可以成为一篇不错的博士论文（我很少要别人把论文拉长）。尤其是，我还建议你把它推广到半整数量子数的情形。过了不久你就做完了，大约只增加了不到2页。我们用了几个星期的时间，终于把它拉长到了13页。我鼓励你将博士论文送上去。这是由我经手的最好论文之一，且肯定是最短的。

事情进行得如此容易，是因为我和E. 费米（Fermi）在内容和论文长度上有相同的看法。

这是你的（和我有关的）开始，至于后事如何，则是大家都知道的了。

（本文作者是美国著名物理学家，被人称为美国"氢弹之父"，杨振宁博士论文的指导教师。本文为杨振宁70寿辰而作。全文分为"一点回忆"和"一个问题"两部分。这里译出的是前一部分。一个问题是指有关狄拉克磁单极的物理学问题，此处略去。原文见：C.S.Liu and S.T. Yau 编：Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century, International Press. Hong Kong 1995. pp.251—253。译者张奠宙。）

20世纪伟大的科学家杨振宁

丁肇中(Samuel C.C.Ting)

今天,我非常荣幸地在这里演讲,以庆贺杨振宁教授的70寿辰。我第一次听到杨振宁的名字时,还是台北的一个中学生。杨振宁和李政道关于宇称不守恒的工作,是我们理解弱相互作用的一个主要步骤。

杨振宁教授是20世纪伟大的科学家之一。他对物理学和数学的贡献极大地增进了我们对自然界的了解。事实上,当人们回顾20世纪物理学发展的主要里程碑时,马上想到的是:

1. 相对论

2. 量子力学

3. 规范场

人们能够很容易地列出杨振宁—米尔斯理论(Yang—Mills Theory)推出的一些结论:

a) 将局域规范不变性用于粒子族:

——量子电动力学以外的第一个成功的理论

——用于基本粒子的第一个非交换对称群

——在较高的对称性和不变性之间建立联系

b) 在SU(2)上的应用($n=2$)

——建立规范场的局域变换规则

——用$A\mu$表示$F\mu\nu$

——解释对称性和同位旋守恒

——引入3向量的规范粒子：无质量，两个带电荷的和一个中性的

——对重规范粒子族而言，显示(Higgs)机制的必要性

——为弱电统一理论提供基础

c) 拓广到 SU(3)($n=3$)

——量子色动力学和八个无质量的胶子

d) 拓广到弱电情形：标准模型

e) 所有现代规范理论的基础

在1960年代末，当我在德国电子同步加速器(DESY)上做向量介子的光子产生和电动力学实验时，我曾有机会和杨教授在利物浦会议上作过一次深入的讨论。然后在1974年，在布鲁克海文实验室发现J粒子之后，我在布鲁克海文和石溪常和杨教授在一起。我再次遇到杨振宁教授是在1977年夏天，我们一起为中国科学院的科学家举行招待会。我有机会和他进行长时间的谈话，并荣幸地参加了为他的岳父——杜聿明将军——举行的集会。那时，我们也在意大利的 Erice 夏季聚会，新加坡的亚太会议，汉城等地进行过多次讨论。几年前，当他在苏黎世高等工业学校(ETH)接受荣誉博士学位的时候，他到欧洲核子研究中心(CERN)和我们会见。1986年，我也在香港见到他。现在他常常到香港。

杨振宁教授对物理学有非凡的清晰识见和透彻理解。他总是能对我的实验的价值和意义提供清晰的画面。虽然他不是实验物理学家，但他深刻地了解实验的极限和可能性。他知道什么是可能做的而什么是不可能的。他也能很好地察知各种实验结果的相对价值。

他总是以极大的热情鼓励和支持青年科学家。他的识见和睿智使他认识到，对许多国家来说，有实际应用的科学比起像高能物理那样的昂贵纯粹科学也许更为重要。

今天我要作的演讲，是和杨振宁与李政道的宇称工作，以及规范理论有关的一些实验。这一工作是在世界上最大的加速器，即在日内瓦 CERN 的 27 公里长的电子—— 正电子对撞机上完成的。

(本文作者是著名物理学家、诺贝尔奖得主。本文译自 Recent results from electron-positron collisions at Highst energies 的前言。文章的主体部分有关粒子实验物理，略去未译。英文原文见 C. S. Liu and S. T. Yau 编：Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century, International Press, Hong Kong. 1995. pp. 255—400。译者张奠宙。)

杨振宁教授在一所大学发展中的关键作用

约翰·托尔(J.S.Toll)

本卷中已有不少文章介绍杨教授在理论物理学方面作出的巨大贡献,这些闻名于世和令人敬佩的科学成就无疑对科学进步具有广泛而深远的意义。然而,在他70岁生日之际,我们还应该认识他伟大事业中的另一些重要方面。

本文将综述杨教授在一所著名大学发展历程中所作的巨大贡献。据我判断,1965年他决定到纽约州立大学(SUNY)石溪分校工作,以后他把他的卓越才能贡献给了这所大学,这是SUNY石溪分校发展的头等大事。从那时起,杨教授完成的每件事都具有双重意义。因为他的许多贡献不仅对科学和社会具有重要意义,而且对他所服务的、正在发展中的石溪分校的形成特色起着关键作用。

许多人对石溪分校的科学社团和学科强项的建立作出过重要贡献,这里不能面面俱到,只能介绍杨振宁教授的重要作用。限于篇幅,我将只限于谈他如何建立起一项学术准则,并成为学校同仁们学习的楷模这一点。

1962年,纽约州立大学计划设立一所新的分校,决定将先前刚成立不久的一所学院从位于奥伊斯特贝镇的"种植园"迁到东面的石溪,它属于长岛北岸的布鲁克海文镇。

1960年,以H.哈罗德为首的委员会向纽约州长和州议会专

门委员会递交了请示报告。按此报告，搬迁后学校的办学任务将发生变化。委员会提出的计划是雄心勃勃的，要求将学校办成一所具有相当规模的大学，在人文科学、自然科学、工程学方面都有能授予博士学位的研究生部门。1964 年，根据 Malcolm Muir 负责的另外一个专门委员会提议，州政府委托学校增设一所健康科学中心。中心拥有医科、牙科、护理以及由卫生保健业、基础保健学和校医院联合组成的社会服务行业。因此，长岛的中心区就演变成为一所综合性的科研型大学。

一所著名大学的创立，需要许多杰出学者的不懈努力。很幸运，在一些学科中已有了一个很好的核心，例如物理学。活动力很大的物理系主任 T. Alexander Pond，明确地把目标定在：建成全国最好的物理系之一。在搬到石溪以后的 20 年里，物理系拥有东海岸公立大学中最好的研究生课程。能够取得如此地位的关键，是在学校搬到石溪 2 年后，杨振宁教授的到来，以及他所具有的吸引力。让我来解释事情的经过。

石溪分校幸运地座落在布鲁克海文国家实验室附近，杨教授曾经常作为夏季访问学者来实验室工作。这样，他渐渐知道石溪分校，并认识了院系的许多成员，他们都叫他“弗兰克”。为了加深巩固这种联系，1965 年春天，T. A. Pond 说服纽约科学技术基金会单独拿出资金，用来邀请杨博士作为石溪分校的访问教授。

但这仅仅是第一步。1965 年，在州长 Nelson Rockefeller 领导下，纽约州首次设五个自然科学杰出学者席位，称为“爱因斯坦教授”（人文科学也有五个类似的 Schweitzer 席位）。纽约州的每所高校都能竞争这个“爱因斯坦教授”席位，胜者每年可得到 10 万美元。这确实是一个很大的数目，它可以用来支付一位杰出学者的薪金，加上支持爱因斯坦教授研究项目的一些开支。

当然，纽约州的那些老大学都希望在竞争中获胜。为了争取

拿到这个席位，T. A. Pond 和 Max. Dresden(1964 年也来石溪分校工作)制定了一个在石溪设立爱因斯坦教授席位的强有力的计划。我参加了这个行动小组，任务是说服杨振宁，如果石溪分校能拿到这个席位，他将同意接受。当我们把他表达这个意愿的信函附在申请书上，石溪分校对这个席位的申请明显地强于其他学校，因为杨振宁是公认的世界上第一流的理论物理学家。引进杨振宁将使纽约州向前迈进一大步。1965 年，第一个爱因斯坦教授席位授予了纽约州立大学石溪分校。

许多人对杨振宁会同意接受爱因斯坦教授感到惊讶。因为他在芝加哥大学由费米指导获得博士学位以后，已任职于普林斯顿高级研究所，并已是那里理论物理的领衔教授。大多数科学家认为，像爱因斯坦晚年那样，在普林斯顿高级研究所获得一个教授席位对于杰出的物理学家来说是一个理想的位置。杨教授在那里的工作非常富有成效。但我们发觉杨教授也希望能有和学生们接触交流的机会，而大学能为他做到这一点。当我们提出他的到来将会对这所新学校形成特色增光时，杨教授盛情地接受了邀请。我们确实感到，杨教授来到石溪，将会在许多方面大大地扩大他的影响。这也使我们更加坚定了把石溪分校办成美国一所著名大学的信心。

1965 年 9 月 1 日 ，我成为纽约州立大学石溪分校的校长。在我就任的当天，很高兴能成功地商定了关于爱因斯坦教授席位的细节安排。在我任期里，这不能不说是一个良好的开端！我和杨振宁相处多年，深知他不仅和世界上任何一位物理学家一样杰出，而且也是我们期望引进的在各方面堪称楷模的优秀人才。

任何大学在新创建时都有许多困难需要克服。例如爱因斯坦教授席位由州教育部负责管理，州教育部又习惯地被称为纽约州的“大学”。州教育部热衷于提高它作为“大学”的形象，因此想

直接任命每一位爱因斯坦教授，把他作为州的雇员，然后委派去相关的大学就任。我竭力争辩说，这样做是完全不适当的，爱因斯坦教授必须是大学教员队伍中真正的一员，州教育部应拨款给学校，然由学样按与其他所有教授一样，向爱因斯坦教授发给薪金。州政府最后同意了我的建议，创立了由州政府为其他杰出教授提供资金的先例。

我们的做法还产生了其他益处，我们尽力利用爱因斯坦教授席位所具有的各种优势，我们建议在石溪建立一个理论物理研究所，纽约州立大学系统的领导人 S. B. Gould 同意了我们的建议。除学术研究项目外，该研究所将资助一个由爱因斯坦教授直接领导的独立的研究机构。这样我们可以在短期内就开始聘请杰出的研究人员与杨教授一起工作。

杨教授立即制定非常严格的标准来组建他的研究所，并且他确实吸引了一群非常有才能的人，包括初期时的李昭辉，Gerald Brown。P. A. M. 狄拉克作为一个访问教授来到研究所。理论物理研究所的创建显然增强了我们大学吸引最优秀的研究人员的热望。研究所创立的学术气氛，后来被我们用来作为校内其他部门学习的榜样。

虽然理论物理研究所有其独立的预算，但杨教授同意把研究所作为物理系的组成部分，并和其他成员一起担任研究生和本科生的教学，参加系里的一切活动。杨教授也注意与其他系的联系，例如与数学系建立了密切的关系。他的出现曾吸引了一群微分几何领域的杰出人才来到石溪。

杨教授非常乐意做他所能做的一切事情来帮助学校。为了使学生和教员方便，他就住在校园旁的一座很小的房子里。当时他自己的新房子正在附近建造。那时我如果认真想一下，应该能预测到杨教授将选择什么地方来安家。在物理学上，他不仅是解

决问题而已，还要获得最漂亮、最有效的答案。同样在决定何处安家时，他选择了长岛海湾那高高的、靠近学校的海角，充分利用了该处的地理环境，在那里建立了一个秀丽而富有现代气息的家。

杨教授在石溪的最初十年是学校迅速发展和伴随诸多动乱的时期。校园总是被新的建筑工程弄得乱七八糟；60年代末到70年代初学生的骚动影响了石溪以及全国的大学校园；还有麻醉品的侵害以及校园和城镇间的磨擦；正在成长的雄心勃勃的学校一直面临经费不足。

但是，处在这场风暴中心的杨振宁表现得十分了不起，他始终建设性地做他所能做的一切，使学校保持优秀的科研、教学水平。他平静而有效地处理各种困难。反过来，我们这些行政管理人员也认识到他是我们的巨大财富，并尽我们的努力用各种途径保护他和他的研究项目。

作为这所发展中的大学的校长，我不得不去处理许多麻烦问题。特别是在学生关心越南战争和其他问题的那段时期，我知道我必须花费大量的时间来处理学生中的动乱。当我知道学生打算对杨教授施加压力时，我愤怒之极。他们可以浪费我的时间，但是无端向杨教授施压，浪费杨教授的时间，这种错误是不能允许的。在我心目中，他的时间太宝贵了，不能这样被白白浪费。

当学生们要求校领导和教职员在校门口的警卫室值班时，一件特别的事发生了。在我可能阻止之前，杨教授已经答应学生在警卫室值一夜班。结果表明这是杨教授一个非常好的举措，他给学生们举办了一整夜的讨论班，谈论了科学、社会、国际关系和其他问题。校园刊物和其他方面都对此事作了广泛报道和传扬，并有效地促使这段时期的紧张的冲突获得缓解。一如既往，杨振宁教授的作用总是收到积极的效果。

中国终止封闭走向开放的时候，杨振宁的父母还生活在中国。杨振宁教授尽自己所能，创造条件来促进国际间的合作和友谊。他在获准访问之后，立刻多次访问中国。作为一名著名的世界科学家，他受到了中国政府最高领导的接见。在每次访问期间，他几乎都会受到毛泽东主席或周恩来总理的设宴款待。他利用这些机会促进中美之间的谅解。更进一步，当中国科学代表团到美国访问时，他们首先要访问的通常是石溪，然后杨振宁帮助他们联系，介绍他们到其他研究中心访问。此外，他又设法组建访问中国的美国科学代表团。由他发起，我率领一个由美国高能物理学家及其配偶组成的代表团，作为中国政府的客人，在 1974 年秋季访问中国。通过这种接触，纽约州立大学石溪分校签订了一些协议，帮助许多中国学者来石溪与杨教授和其他研究者一起工作。杨教授全身心地投入这些合作，并与中国学者联合发表论文。

1978 年，在我担任了 13 年石溪校长后，从大学的前途着想，我感到最好离开，让州政府任命一位新的校长来促进大学进一步发展。我有幸被邀请到我曾经工作过的马里兰大学，并成为这一具有多个分校的大学的校长。当我离开石溪时，我问杨教授，我能做什么来继续他在建立国际联系方面的努力。根据他的建议，马里兰州成为全美第一个与中国的一个省签订协议的州。杨教授会晤马里兰州长，促使马里兰州与中国安徽省达成官员互访的安排，并建立长久的关系，直至现在。

对石溪来说，幸运的是杨教授继续担任爱因斯坦教授。他堪称是个楷模，他具有一个伟人和一个卓越科学家所应具有的品德。他在各个方面帮助别人，在遴选大学领导、教授，或调整政策的重要委员会中任职，他的时间得到了充分利用。校领导知道他的时间是何等宝贵，所以很小心地不去浪费它。但是，他从来没

有拒绝我的请求，我清楚他一直与我的继任 John. H. Marburger 校长合作得很好。石溪已经成为纽约州立大学系统里最活跃的研究中心。这种学术界的领导地位可以从多方面得到认可，例如，在纽约州立大学系统中，获得联邦政府的国家奖的成员数目，或以每年申请的科研基金总额计算，石溪都处于领先地位。许多人为此作出了贡献，但就我看来，杨振宁教授的榜样、卓越的领导为石溪作为学习、教学、科研的美好学府确定了基调。

（本文作者是原石溪分校校长，现任美国大学研究会会长，马里兰大学物理学教授、荣休校长。本文为庆贺杨振宁 70 寿辰而作。原文见：C. S. Liu and S. T. Yau 编：Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century。译者程龙海、徐龙炳。）

贺杨振宁教授70寿辰

吴健雄(Chien-Shiung Wu)

受邀参加杨振宁教授70寿辰的聚会，真是非常高兴，可是当我仔细看聚会的名称是国际学术讨论会时，又有点犹豫。因为我没有做好参加学术讨论会的充分准备。

今年的五六月，一大批华裔物理学家从美国去中国大陆，在南京、上海、北京参加了一系列的祝寿活动和周年纪念活动。袁家骝和我于6月中旬回到纽约的家中时，一封出席杨振宁教授生日聚会的通知正等着我们。

1957年1月宣布的"β衰变宇称不守恒"的工作，是理论和实验研究的结合，那是35年前的事了。关于这一课题，已经写过许多总结性的文章。新竹清华大学的刘校长建议我谈谈教育，特别是早年中国科学教育的往事。这使我想起在高中读书时学到的两段感人而且睿智的诗句：1. 岁寒松柏古栽培，异日必然成大器。2. 十年树木，百年树人。

杨振宁于1922年生于安徽合肥。那时他的父亲在怀宁教书，所以他的名字里有个"宁"字。当振宁10个月时，他父亲到美国芝加哥攻读数学。1928年回到中国，携全家到厦门大学任教，一年后转到北京的清华大学教授数学。

以后的8年间，杨振宁的全家都住在清华园(水木清华)的教员宿舍区，那里以风景优美，适合孩子们玩耍而著称。振宁后来

说他能记住校园里这个花园的每一棵树和每一个土堆。新竹的清华大学，也和原先的清华园一样漂亮。

在二三十年代，中国面临内忧和外患。内部有军阀混战，外部有日本军队在东北的侵犯。最后发生了芦沟桥事变。芦沟桥是一座栏杆上雕有许多龙的美丽石桥。1937年7月7日，日本军队越过芦沟桥入侵中国。杨振宁一家回到家乡——安徽合肥。那时，任总司令的蒋介石终于宣布抗日战争开始。很明显，我们军队的训练和装备都无法抵抗日本军队，我们的政府采取焦土政策，即沿着入侵军队的路线把城市"烧成焦土"。建在一些沿海城市里的大学和机构，迁到内地，以便继续发挥教育功能。把这么多的人员和设备做长距离的运输，确实十分艰难。况且内地又没有现成的校园来加以安置。然而，搬迁却顺利完成了，在中国西部的新校园也建成了。那是一些简陋的临时宿舍和教室，但是教授和学生的情绪十分高涨。教学水平之高，在今天是难以想象的。

战时，北京大学、清华大学、南开大学临时合并成西南联合大学。振宁一直深情地怀念他在西南联大的学生时代。他在一年级的物理教师是清华的赵忠尧。赵教授在美国加州理工学院获得博士学位，1929年，他是发现正负电子对的产生和湮灭辐射的第一人。

在二年级时，清华的吴有训是杨振宁的物理学教师。吴有训曾和康普顿(A. H. Compton)在芝加哥大学一起工作，担任过中央大学校长，后来是中国科学院的副院长。杨振宁还有一位很好的力学教师——清华的周培源，后来也是中国科学院的副院长。

在杨振宁读三四年级时，一位年青的理论物理学家——王竹溪刚从英国来到学校。王竹溪是杨振宁攻读硕士学位时的指导教师。至于学士学位论文的导师则是北京大学的吴大猷，他后来

是位于台北的中央研究院的院长。吴大猷教授最近说,1941年时,他桌上有一本《现代物理评论》杂志,里面有一篇关于分子光谱的文章。吴大猷把它交给杨振宁,说:“你拿去读一读,看看能不能做点什么。”杨振宁带回家念论文时,他父亲问:“你在读什么?”杨振宁说:“这是吴大猷教授给我看的有关分子光谱和群论的文章。”他父亲是数学家,对群论十分熟悉。他说:“书架上我有狄克逊(Dickson)的一本代数学,里面有群论。”这是杨振宁走向对称性物理的开始。

对于一个聪明的少年,有才华的青年,有如此家庭环境的熏陶,然后由这么多鲜见的大师和最好的物理学家施教,从大学一直指导到研究生,正如杨振宁所说,真是非凡的幸运。

让我们祝他长寿,祝愿他在世界各地教育和培养出许许多多卓越超群的学生。

长寿健康,桃李满天下!

(本文作者是著名物理学家。本文为杨振宁70寿辰而作。英文原文见C. S. Liu and S. T. Yau 编:Chen Ning Yang—A Great Physicist of The Twentieth Century, International Press, Hong Kong, 1995, pp. 445—446。译者张奠宙。)

杨振宁教授和我

吴大峻(Tai Tsun Wu)

在我到哈佛大学读书的第一学期里，期中考试的每一门课都弄得很糟。只是由于比我高一班的杨振平的帮助，才在期末把成绩拉回来。因此，在第二学期，当他的哥哥杨振宁教授从普林斯顿高等研究院来哈佛做物理讲座时，我特别感到兴奋。虽然那时我对量子场论一无所知，没法听懂他的演讲，但是我仍清楚地记得，他所讲的杨—米尔斯非交换规范场曾引起轰动。多少年之后，人们终于理解这一杨—米尔斯非交换规范场是一切相互作用的基础。1954年杨振宁和米尔斯发表的这篇论文，无疑是本世纪两三篇非常重要的论文之一。

1956年，我获得博士学位后立即来到布鲁克海文国家实验室过暑假。我的博士论文由罗纳德．金(Ronald W.P.King)教授指导，其主要部分是关于短波长限制情形下，圆柱体和球体横截面上的全散射。当我再次在布鲁克海文实验室遇到杨教授时，不到一分钟，他居然告诉我一个解决那个问题的更好方法。也就在这一夏天，我认识了杨先生富有魅力的妻子杜致礼女士，还有他们的儿子杨光诺(Franklin)。她想教我跳舞，可惜没有成功。我也很学了一阵子的桥牌，自认为打得还不错，尽管我不大习惯特别的约定。这年夏天，杨振平也来到布鲁克海文。杨先生、杨师母、振平和我经常打桥牌。很多年之后，杨光诺成了美国最好的

桥牌手之一，比他父母的水平要高多了 。

1956 年夏天，杨教授十分忙，大多数时间，他都和李政道一起研究“宇称不守恒”问题。他们的论文《弱相互作用的宇称守恒问题》，完成于这年的 6 月。正是这篇论文使他们在第二年荣获诺贝尔奖。这年夏天，他们也在一起研究和粒子物理有关的“多体问题”，特别是硬球的玻色子气体(boson gas of hard sphere)。不过，一直到现在，我都不知道他们怎么能同时研究两项难题。

尽管杨先生的日程非常满，他仍然抽时间来教我做物理。那年夏天，我向他学习的最重要一课是，要想成为一名理论物理学家，你必须知道许多研究方向的前沿工作，而不能只熟悉一个方向。他给我定了一个 8 年计划，两年把基础打扎实，两年搞统计物理，再两年学习量子场论，最后化两年学粒子物理学。

从布鲁克海文回到哈佛之后，我很幸运地获得哈佛董事会的初级研究员位置。这样，我可以不必承担各种任务而自由研究，从而开始杨先生为我草拟的学习和研究计划。后来，在我做初级研究员的最后一年，1958—1959，他让我到普林斯顿高等研究院和他一起工作。

按照杨先生给我安排的进程，我开始学习统计物理。在普林斯顿高等研究院的那段时间里，正如上面提到的那样，关于“硬球玻色子气体”的研究是一个热点。为了依托一个具体问题，我打算研究这种系统的基态能量。大约每两个星期，我到杨先生的办公室去向他报告我刚做了些什么，通常他会用几分钟告诉我这样做的困难所在。于是我得用一个星期弄懂杨先生所说的内容，而第二个星期则去谋求某些进展，然后再来一个循环。回想起来，杨先生给我留下的最深刻印象是，他能迅速指出问题的症结所在，而且总是适当地指点困难，使我从没有觉得灰心失望。最后，我终于得到一个关于基态能的修正项，改进了杨振宁和李政道在

1956年获得的结果。这篇文章发表在1959年的物理评论上。不久，这一结果由Hugenholtz与Pines，以及泽田分别证实。虽然杨教授对这项工作的贡献比我还多，却不愿成为这篇论文的合作者，因为这有助于我的科学前途，这种情形不止一次。直到五年之后的1964年，杨先生才第一次和我联合发表论文——“K^0和$\bar{K}^0$衰变中违反宇称不变性的唯象分析”，物理评论，13卷，380(1964)。

在普林斯顿高等研究院度过1958—1959年之后，我被聘为哈佛的助理教授。由于我获得Sloan研究基金，杨先生能够安排我在1960—1961年间重返普林斯顿高等研究院。我再次按照他拟订的时间表，开始学习量子场论。当我还是研究生的时候，我曾分别在哈佛和麻省理工学院听过J.施温格（Julian Schwinger）教授和维拉斯(Felix Villars)教授讲的这门课。然而，如果不进行原创性的研究工作，实在无法真正理解一门学科。在我第二次访问普林斯顿高等研究院时，费曼图(Feynman Diagrams)的解析性质曾是研究的热点，我也参加进去了，而且想学习重整化。于是，我又像两年前那样，大体上定时地到杨先生的办公室去谈话。我要理解他提出的意见，有时需要好几个星期的考虑。例如，我曾花了很长时间去理解：为了重整化的目的，为什么对质量的微分得不出任何结果呢？那次在高等研究所，我被邀请到讨论班上讲我所做的研究，结果成了一段有趣的经历。我在讨论班上一共讲了6个半小时，中间有一个午夜休息。我不知道这是否创立了一项纪录，即便不是新纪录，大概也差不多了。

我第三次也是最后一次到普林斯顿高等研究院的长时间访问是在1962—1963年间。我的计划是学习基本粒子物理学。杨先生告诉我应主要研究中间玻色子的弱相互作用，因为在那时这是纯粹的、理论上的、尚未被实验证实的粒子(要十多年后才获证

实)。然而,那时我因在哈佛的助理教授的合同即将期满,急于找工作。幸运的是,由于奥本海默(Robert Oppenheimer)教授的推荐,我在哈佛获得了终身职务。

1964年夏天,我正在威斯康星大学访问时,听到了Cronin Christenson, Fitch,和Turley所做的实验。我立即回到布鲁克海文国家实验室,杨教授正在那里访问。我们最先做出了K系统宇称不守恒的唯象分析。因为那时我已有终身工作了,杨先生终于同意作为合作者一起发表论文,像前面已经提到的,这是我们合作发表的第一篇论文。

这样,我在杨先生的指导下完成了一个理论物理学家的教育。此后,我们联合发表过十几篇论文。也在1964年,我们对在高能和大动量转移情形下的强子弹性散射作了猜测。这一思想把强子作为扩展对象(extended objects),后来由杨教授和邹祖德加以发展用于他们的"液滴模型"(droplet model)。若干年之后,麻省理工学院的郑洪和我开始研究从量子场论的观点来理解高能弹性散射行为的可能性。这使我卷入一场我所遇到的最长的一项计算任务。1970年后,这项计算的结果导致一个令我们吃惊的结论:高能强子的总截面(total cross section)将随能量增高而无限增加。那时,这一结论只有极少的实验证据可以支持。令人高兴的是,这一纯粹理论的预测后来被实验仔细地加以肯定。特别地,在预测的十年之后,关于综合弹性截面和总截面之比的增长,也最终为CERN的质子—反质子碰撞的实验所证实。

1956年,在布鲁克海文实验室,杨先生告诉我,他一个人完成的最长计算,是关于二维Ising模型的自发磁化问题。有好几年,我曾断断续续地读这篇文章。当我能够沿着杨先生的思路得到这一著名结果时,我却无法理解为什么杨先生要设立这些步骤。十年之后,我想用不同的方法来达到这一结果。做这番努力

的另一动机是杨教授和李政道教授曾在虚数的磁场情形下解了二维 Ising 模型。然而，和自发磁化的情形不同，这一结果是用猜想一个级数展开而得到的，并没有真正推导出来。很幸运，我还是一年级研究生时，在 H. 列文(Harold Levine)教授指导下，曾比较彻底地学习过维纳—霍普夫技巧(Wiener—Hopf Technique)，而这一技巧恰好能用于二维 Ising 模型。和我的学生 Barry McCoy 一起，我们能够得到二维 Ising 模型的一系列新结果，其中包括上述杨李两教授猜想的虚数磁场的情况。做成这件事大约化了 8 年时间，杨先生的鼓励和与他不断的讨论起了重大的作用。

在我和杨先生合作完成的论文中，我特别引以骄傲的(我想杨先生一定也是如此)论文，是有关不可积相因子和规范场的整体公式——物理评论，D 12，3845(1975)。他许多次对我阐述，可是只是在完成这篇论文之后，我才真正欣赏到数学和物理学之间的神奇而美丽的深刻联系，这就是纤维丛和规范场。我们曾读过斯廷罗德(Steenrod)的有关纤维丛的书。碰巧的是，1955 年，杨先生在普林斯顿时曾买下斯廷罗德在卡特路(Carter Road)的房子。在我们理解了规范场和纤维丛之间的精巧联系之后不久，杨先生驾车到加州大学(伯克利)陈省身教授的家中去，我也随同前往。这是陈先生从芝加哥搬到加州以后，我第一次到他家里。我们对他说了我们的发现，当时陈先生的评论对我印象很深：和物理学一样，数学中的重要概念不是凭空想象的，而是非常自然的。

在私人交情方面，当我和秀兰在 1967 年决定结婚时，她的父母没能够来美国。杨先生来到剑桥参加我们的婚礼，代表她的父母把新娘交到我的手里。到现在，我还没有像杨师母教我的那样学会跳舞，不过我希望最后会成功地弥补我的这一缺陷。

（本文作者是哈佛大学教授。原文见：C. S. Liu 和 S. T. Yan 编的 Chen Ning Yang—A Great Physicist of the Twentieth Century International Press. Hong Kong, 1995, pp. 447—450。译者张奠宙。）

附录三　记者报道

卓有成效的合作

——在上海接受《文汇报》记者采访的报道(1978年8月)

在盛夏的上海，我们访问了美籍物理学家杨振宁博士。

访问之前，我们听了杨振宁博士在上海作的《用历史的观点看物理学的发展》的学术报告。报告中，他讲了这样一个故事：100多年前，英国物理学家麦克斯韦，给当时物理学的前辈法拉第写了一封信，提出要把库仑定律、高斯定律、安培定律和法拉第定律，用数学的方式表示出来。比麦克斯韦大40岁的法拉第，是一位没有受过数学教育的物理学家，对数学很不信任，说："把物理现象写成数学公式，我很害怕，怕物理的意义消失了。"麦克斯韦把物理定律写成数学方程，在数学方程中，保存了法拉第描述的物理精髓，这样法拉第放心了，他在给麦克斯韦的信中说："我的顾虑消失了，看了你的数学公式，物理性能并没有消失。"

杨振宁博士讲完这个物理学发展史上的一段佳话后说："从此，数学进入了微观世界，不管你欢喜也好，不欢喜也好，科学总是这样。"

这个故事很自然地使我们想到杨振宁博士和复旦大学数学系谷超豪教授合作进行科学研究的事。一个是当代著名物理学家，一个是当代数学家，他们是怎样把物理学和数学进一步结合起来，去探测微观世界的秘密的呢？他们又是怎样用友谊之手，培育出科学之花的呢？

访问杨振宁博士时，一见面就很自然地谈到他的学术报告，谈到法拉第和麦克斯韦的故事。

杨振宁博士回味着这个故事，带着几分沉思说，从历史上来看，数学和物理学的交流很有必要，数学的演算可以证实物理学中的一些猜想，物理学中一些问题的解决，又往往可以把数学引向深入发展。他说，自然科学发展到今天，那就特别需要这种交流了。

一个科学家重视这种不同学科的交流，往往是和他在科学研究中的亲身体验分不开的。在物理学发展史上，从电磁场引伸出来的规范场，称为U(1)规范场，这是早已为物理学家们所认识了。1954年，杨振宁博士和另一位物理学家米尔斯，把规范场的思想推广到非电磁场的情况，这就是当代物理学中的SU(2)规范场，世界理论物理学家都称赞他们为这种规范场做了奠基性的工作。自此以后，规范场的研究，是世界理论物理研究中特别为科学家们所关注的问题。最近一段时间内，在世界上有关规范场的研究，每年至少有1000篇论文。

在访问杨振宁博士之前，谷超豪教授曾给我们介绍过规范场理论之所以受到重视，是因为它有电磁相互作用理论作为基础，而且有可能为引力相互作用、弱相互作用、强相互作用等基本物理现象的研究提供理论的方法。尽管目前许多工作还是尝试性的，还得看实践的发展，但许多科学家对它都抱有希望。杨振宁博士正是在对规范场进行深入研究的过程中，迫切地寻求同数学

家的合作的。

因此，当话题转到和谷超豪教授合作的时候，杨振宁博士很兴奋地向我们介绍了他们之间的合作过程。1974 年，他把自己有关规范场研究的成果写成论文，对一些问题还想作深入的研究与认识，这就需要借助于数学。他在世界上曾经找了几位数学家，但是他不懂数学家惯用的抽象的数学语言，数学家们也不懂得物理语言。没有共同的语言，怎么可能在科学研究上进行合作呢？

也就是在这一年，杨振宁博士回上海探亲。他打听上海有没有搞微分几何研究的？他想找到年轻的微分几何研究者，用他的话来说，“可以卷起袖子，马上合作进行科学研究”。经过介绍，他认识了谷超豪、夏道行等几位数学家 。他们在一起交谈，在一起讨论，他发现谷超豪等对规范场的问题不是陌生的，有自己的见解，能够理解他的物理语言；谷超豪也用物理学家能了解的语言，来表达深奥的数学概念。他们之间有了共同语言。他们第一次见面就用创造性的工作来表达他们内心的兴奋。经过两天紧张的研究，新的成果出来了，在这些成果的基础上出现了谷超豪教授和杨振宁博士合写的论文《规范场理论的若干问题》。

杨振宁博士颇为感奋地说：“很幸运啊，复旦大学是研究微分几何的中心，我每次来都和他们进行交谈，彼此都受到了很大的启发。科学的发展怎么能缺少科学家的合作与交流呢！”

杨振宁博士谈到 18、19 世纪，每个学科都在发展，不同的科目用不同的方法和技巧解决科学上的问题，把每个人做的工作集中起来，联系起来，这样就把各个学科有机地结合起来，推动当时科学蒸蒸日上地向前发展。这不禁使我们想起恩格斯在《自然辩证法》中的一句名言：“在自然科学中，由于它本身的发展，形而上学的观点已经成为不可能的了。”“我们抓不住整体的联系，就会

纠缠在一个接一个的矛盾之中。”用杨振宁博士的切身体会来说，就是：“在科学研究中，如果没有与别人的合作与交流，只是自己埋头钻研，视野不开阔，在科学研究道路上就难免有局限性，还容易发生偏差。”

接着，杨振宁博士兴致勃勃地介绍了他所在的纽约州立大学石溪分校物理系，在他的倡导下，举行一种很特别的集会。那是每个星期二的中午，利用休息时间，请医学院研究脑神经的医学专家，或者请化学家、经济学家、寄生虫学家等各方面的科学研究者来谈谈各方面学术研究的情况，我们叫做“非正式讨论会”。这种介绍不是十分专门的，不是专学那一门学科的人，一般也能听得懂。

“这些报告对你们物理学研究有什么帮助吗？”

“有启发。有些是没有用处的，但可以使我们知道其他学科的发展方向。保持广泛的兴趣，对于沟通各个学科之间的情况，促进科学的发展，是大有好处的。”

杨振宁博士认为，在综合性大学里，除了这种广泛的学术交流外，更应当有专门性的学术交流。这种交流可以在系与系、专业与专业之间进行，也可以请工厂的工程师来作报告。这种交流，可用专门语言对一些问题作深入的探讨。

这种学术交流，不但通过专题讲座，而且还通过许许多多的科学杂志来进行。杨振宁博士向我们介绍了《科学的美国人》这个杂志。这家杂志有100多年的历史了，开始的内容都是科学报道，办了七八十年，读者很少，几乎奄奄一息。后来，3个年轻的美国人把这个杂志买了去，改变了出版方针，请专门家写稿，读者马上多了起来。杨振宁博士说他自己是这个杂志的读者、作者，而且有时为它组稿。他说，加州大学东方语言学系的周鸿翔教授，对一些用人工无法拼齐的甲骨文碎片，用电子计算机把它拼

起来，取得了很好的成果，他准备请周教授为这个杂志写一篇甲骨文方面的文章。我们和杨振宁博士又交谈了一些甲骨文研究方面的问题。杨振宁博士的兴趣是广泛的，知识是渊博的。

这时，杨振宁博士问："你们报纸有一个专门宣传科学的版面，叫什么名字？"

我们说："叫'向科学进军'。"

他说："这个版面好，要实现四个现代化，就要普及科学知识，要让更多的人掌握科学。"

在交谈中，杨振宁博士提到复旦大学物理学副教授倪光炯的研究。去年杨振宁博士在上海时，曾提出莱文逊定理在非相对论量子力学中已有多年研究。这个定理在相对论量子力学中的情况是怎样的呢？杨振宁博士有一个设想。经过一年，他们再见面时，倪光炯写了一篇有关这个问题的论文，杨振宁博士看了很高兴，一方面赞赏他的研究成果，同时对论文的表达方法也提出了意见，要求把工作做得更细致、扎实些。

话题又回到与谷超豪教授合作的问题上来，杨振宁博士继续说，他在研究规范场和纤维丛的时候，一直是用开环路位相因子进行研究的，能不能用更为基本的闭环路位相因子进行研究呢？他提出了这个问题，谷超豪教授就把这件事放在心上。他第二次与谷超豪见面时，谷超豪用数学方法证明了用闭环路位相因子是可以的，证实了杨振宁博士的设想，并证明了几个微妙的定理。杨振宁博士和另一位物理学家特福特，用不同的方法对磁单极进行研究，这两者研究之间有什么共同的联系呢？接着，谷超豪等又用数学方法，揭示了杨振宁博士和特福特两人关于磁单极理论的共同本质，并作了进一步的研究。杨振宁博士把谷超豪的这项研究比喻是站在高山上往下看，看到了全局。

随着科学的发展，不同科学的合作已经成为不可阻挡的发展

趋势。我们感到杨振宁博士的这个观念是非常强烈的。太平洋不能阻挡他同谷超豪教授的合作；大西洋不能阻挡他同欧洲的科学家的合作。杨振宁博士认为，一个国家要登上世界科学的高峰，没有广泛的交流和合作是不可能的。

在杨振宁博士的许多研究中，还从物理学中得出了数学家们精心研究的纤维丛的概念。杨振宁博士对这种现象感到惊奇，他问那位数学家说：

“你这是梦想出来的吧?”那位数学家说：“这是数学的现实，不是梦想。”

杨振宁博士谈完这个故事，意味深长地说：

“我们从事科学工作的，都应该认识到这种科学发展的趋势。”

从访问中，我们知道这位著名的物理学家，他既没有门户之见，更不是把自己关在小圈子里。他经常到世界各地进行学术考查，长则数月，短则几天。他走到那里，就和那里的科学家进行学术交流，共同进行科学研究。他和谷超豪、夏道行、胡和生、李大潜、严绍宗、沈纯理、孙鑫、倪光炯等人合作了4年，4次相聚，每次都有新的发现，做出新的成果；每次分别又都带着提出的新的问题，回到自己的岗位上进行研究。他们就是这样不断地合作，不断地研究，不断地有所发现，不断地把科学推向一个新的水平。

谈到这些，杨振宁博士带着非常宽慰的神情说：“在许多合作中，与复旦大学的合作是广泛的、规模也是较大的、在我的经验中是最有成效的合作之一。”

（原载1978年8月7日上海《文汇报》，此处略有删节。）

科技人才培养和学校、科研机构的管理

——在上海市科学技术协会演讲的报道(1980年3月)

杨振宁教授说,我曾经同我的老师泰勒(Teller)讨论过世界各国科技发展成功的因素。泰勒说,一般人觉得一个发展中国家最重要的是资金,他认为这个想法是错误的。有的发展中国家钱很多,但发展并不很快。反过来说,第二次世界大战后的日本和德国,刚开始时经济上极端困难,可是他们经过30多年的努力,工业发展遥遥领先。泰勒认为,这里面的道理当然很多,不过主要的是这两个国家的教育体制,使他们的人民都有一定的科技知识。在二次大战中,虽然他们被破坏得很厉害,可是他们掌握现代科学技术知识的人相当多,所以他们战后工业才有这样惊人的发展。我觉得,他讲得有道理。我想,中国大学的学生人数是太少了。

杨振宁教授接着讲了对目前中国大学生专业分布的印象。他说,我听说1978年全国考取预备选送出国的人中,报考学农的很少。中国从事农业方面科学研究的人数也少。美国是农业发达的国家,成功的经验中有一条是,美国在100多年以前,设立了所谓"有土地的州立大学"。这个教育体制的基本目的是,给所在州的农业作出贡献。这样做的结果,使美国的农业大大发展了。现在中国年轻人对学农不发生兴趣,怕将来到农村去,把农村工作看作是很苦的,没有出路的。假如真是这个原因,我想这是个很复杂的社会问题,不是学校所能解决的。我建议大家对这个问

题讨论讨论。如果不讨论的话，一个有9亿人口的国家，整个现代化要搞上去是有严重困难的。

杨振宁说，据说1979年夏季全国高校招生考试，考化学的学生比较少。这是我不能理解的。我是念粒子理论物理的。粒子理论物理是一个很重要的学科。我相信在30年、50年或100年以后，肯定会与人类的日常生活发生关系，基本粒子的研究是会影响世界生产力的。但是，这是从长远观点讲的。长期投资和短期投资的分布，各国需要不一样，不能一概而论。在中国，假如把我干的那一行强调得太高了，将会产生不良的影响，也许会使许多应该念化学的却想来学基本粒子，这类问题就不是一般的问题了。

关于学校和研究所的管理问题，杨振宁说，中国对学校和研究所的管理，与美国有很大差别。中国研究人员在念学科时的训练比美国专，这是采取在比较窄的范围内打深井的办法。在中国做研究工作的人，经常有可能被调到另外一个地方去，当然这也是增广知识的一个方法。但从总体上讲，这恐怕不是一个效率最高的办法。我感到，从工作效率来讲，在念书的时候，学习的面比较广一些，后来通过自己比较广泛的接触，向各个方面发展，这方法对出研究成果是效率比较高的。

杨振宁还讲到他的另一个印象是，中国对于资历比较深的研究人员和教授，相对地讲，给了非常重的责任和非常高的荣誉，而对年轻人的意见不太重视。他在介绍美国的情况时说：我们的研究所比较小，有10个教师、10个从世界各国来的研究员和25个研究生。我们所需的经费，一部分是从纽约州立大学石溪分校来的，一部分是从美国的国家科学基金会来的。科学基金会每年要把八九亿美元的经费分给各个主要大学里的各个研究机构。我们每年要写一个申请书到基金会，说明有多少人，需要多少设备，在做什么研究工作，需要多少经费。基金会就把申请书寄到

研究类似项目的地方让他们审查。这个审查，并不因为这个申请书是我写的，就说这个人有点名气、五十几岁了，不必审查了。根本不是这样，而是把申请书送给很多年轻人去审查，其中有的三十几岁，有的二十七八岁。我们研究所的报告有时送到十几个地方去，让有关的研究员评论。基金会将这些评论集中起来，对提案是否值得支持和经费合理不合理作出最后决定。这里，年经人提意见的比例比年龄大的人大。因为每一个学科里，最生气蓬勃、能够决定学科前途和方向的，是年轻人。所以，年轻人的意见应该被重视 。

杨振宁教授最后说，他想建立起一个能够有效地发展国家的科学技术和提高生产力的体制，这对现代化是必要的。例如学科怎么分法，必须由一些内行的人和不是在做业务工作，可是处于领导地位的人合作起来，才能提出适当的措施。关于科研经费的支配，尤其在经费不够的情况下，这个分配问题更是一个重要环节。他说，美国的研究工作分成三种：基本研究、应用研究、发展研究。一般大学里做的研究工作，绝大多数属于基本研究。比如我们所做的基本粒子理论工作、实验工作等。应用研究有许多也是在学校里做的，所不同的是不在原理方面探索，而是在应用方面探索。另一种是发展研究，就是把基本研究和应用研究方面已有的原则性结果，发展成一个真正的生产设备。美国这方面研究经费的分配，发展研究的经费占比例最大，比基本研究多二十几倍。我想，中国的比例恐怕要少得多，这是可以理解的。中国虽然非常需要发展性研究，但也不能忽略基本研究。到底什么样的研究才适用于中国，这需要商讨，恐怕需要制定一个体制，使其能完满地解决非常复杂的政策问题。

（原载 1980 年 3 月 26 日《人民日报》，此处略有删节。）

谈人才培养

——在美国与《光明日报》记者的谈话(1982 年 4 月)

中国很快可以赶上来

杨先生说,他最近一直在考虑一个问题:到底是什么原因,近代科学没有在中国开始?英国的李约瑟在《中国科学技术史》一书中曾对这个问题进行过探讨,但是仍没有定论。一直到明朝初年,中国科技的发展在多方面超过西洋。可是,到了明朝末年,已经落后了。19 世纪末、20 世纪初,由于中国科技落后,致使有些人丧失了自信心。有人甚至认为中国人不如西洋人聪明,当然今天有这种想法的人可能绝无仅有了。其实大家都知道,无论古代、近代还是现代,中国人在科技上人才辈出,是作出过很大贡献的。

杨先生停顿了一下,讲起一个故事。他说他父亲杨武之先生是 1923 年到美国留学的,他考的是安徽省的数学公费生。当时有一道考题是 $\sin(A+B)=\sin A\cos B+\cos A\sin B$,这是一般中学生做的题目,可见当时国内教育水平之低。他父亲一辈的人到了美国后,学习上要拚命赶才能跟上人家。他们回国后,培养了下一代的人才,就是华罗庚、陈省身那一辈人。这批人到外国留学时,学习上已经很从容了。再下一辈就是他这一代人了。他回忆在昆明联大读书的时候,马仕俊先生刚从英国留学回来,在西

南联大讲“场论”，他去听了那门课。后来，他到芝加哥留学时，发现他对“场论”的知识比当时学校里教授都多。

杨教授是1945年离开国内的。那年在昆明召开中国物理学会，参加的不过数十人。1971年，他第一次回国，看到新中国已经培养出了成千上万的物理学者，在物理学的每一个领域中都造就了不少人才。这是他没有预料到的发展。这说明，只要少走弯路，中国的科技水平是很快可以赶上来的。

要重视会动手的人

说到这里，杨先生若有所思地笑着说：“像我这样有了点名气的人，也有不好的影响。在国内有许多青年人都希望搞我这一行。但是，像我这样的人，中国目前不是急需。要增加中国的社会生产力，需要的是很多会动手的人。这又使我想到国内目前的考试制度。由于每年入大学的高中毕业生只有百分之四五，竞争很激烈。用现在这样的考试方法录取大学生，带来的一个问题是会动手的人往往吃亏。我接触到很多第一流的物理学家，他们很能动脑筋，很会做实验，却不善于应付各种考试。如果光凭考试取人，这些人才就可能被埋没。一个人会动手，也是宝贵的长处，经过学习，加上一定的机遇，就有可能成为中国最需要的搞实验的人才。如何想办法不浪费这样的人才是个很重要、很紧迫的问题。”

要兼顾两方面的因素

杨先生说，高等教育的成功在于使每个人的最大能力和创造性得到充分的开发。在学校里，学生要念什么专业，应该兼顾到两方面的因素：外在因素（如国家的需要和学校的条件）和内在因素（本人的兴趣和才能）。但目前的体制对内在的因素考虑不够，

这是不利于科技的发展的。不注意个人的兴趣和才能，不容易培养出有创造性，有独立见解，有做开拓工作的能力的人才。

要扩展视野

杨振宁教授在物理学上的贡献是多方面的。但是，除了物理，杨先生对历史、诗词、摄影等也颇有研究。一位美国教授开玩笑地说："杨先生知道很多他不该知道的东西。"对杨先生的博学多才十分钦佩。杨先生很早就注意发展多方面的兴趣，接触各科知识，多注意与现象有关的问题。他也经常教导中国留学人员，要把视野像天线一样放开，发现了新东西就要一下抓住，吸收为自己的学问。他鼓励他们坚持去听自己专业以外的各种通俗讲座和学术座谈，他说："听不懂没关系，硬着头皮去听。在基本不懂的情况下争取从中抓住能学到的东西。"杨先生认为，中国的高等教育使学生向专的方向发展，有好处，也有不足之处。太专了，不容易鼓励学生向科学技术和工农业生产中活跃的领域去发展。

（本文作者为《光明日报》记者薛福康。原载 1982 年 6 月 26 日《光明日报》，此处略有删节。）

研究工作与研究生的学习态度

——在广州中山大学演讲的报道(1986年7月)

读书是手段

杨教授认为:中国的小学、中学、大学和研究院的教育一直都在把学生赶到一个越走越窄的道路上去,把学生变成念死书的人,虽然书的确都念得不错,到外国去留学的中国研究生考试成绩素来名列前茅,但是念书不应是学习的目的,而应是创出新知识、新体系的一个手段。中国学生之所以囿于书本是由于分数与学生日后前程密切相关。这种以分数论英雄对特殊天才的压抑就更可怕。如爱因斯坦、爱迪生这些伟人,他们在早年都是众所周知的平庸的人物,他们根本就不可能通过中学一级的考试。在中国,这样的学生就不能被当作优秀生送去受高等教育并在政府部门获得一个重要的位置,只有那些考试及格的人才允许进入高级的学校学习。因此这种体制虽然能为群众提供更好的教育,却失去了我们的爱因斯坦。

不能自我封闭

杨教授指出,传统的学习方式也影响了天才的发挥。这一点在中国留学生身上表现得特别突出,美国许多大学都定期举办各种内容各个领域研究工作进展状况的讲演,很多中国学生却不去

听，究其原因认为与自己研究的学科风马牛不相及，没必要听。这是有其传统的心理基础的，是受了古训“知之为知之，不知为不知，是知也”的影响。但是在现代科技中，学科间的相互融合和渗透出的奇花异果，产生的成就已经说明：对专业以外的其他学科的知识汲取，是非常重要的。中国这种传统的学习态度，是自我封闭，自我窒息的，是非常不可取的。

辩论中求真知

杨教授认为，中国的学生往往怕出错，怕显得无知，怕在人面前出乖露丑而有意识地躲避一些辩论。这种传统的行为方式应该加以克服。美国学生常常是在乱七八糟之中把知识学了进去，你只要稍微与他们交谈一下就会发现，许多很优秀的学生，其知识体系中的漏洞是非常多的，而且正确和谬误常常纠缠在一起。但是这并不影响他们的成才。因为美国的教师鼓励学生提问，鼓励学生向最了不起的权威提出怀疑。美国的学生在学习中注重发展学科中的合理内核，通过判断把学科的价值观念发展出来，把过时的或走到顶峰的那部分扬弃掉。他们热衷于吸收各学科的成就，热衷于辩论，使自己混乱的知识体系迅速地在辩论中剔除糟粕和谬误，从而获得迅速的进步，而中国学生在学习中往往是全盘接受，分不清学科理论体系中哪些部分在未来是大可发展，哪些部分是必须淘汰的。他们的导师根本就不喜欢学生的想法与自己有稍稍相背之处。学生习惯于接受而不习惯于思考，更不习惯于怀疑和考证，他们以拥有丰富的知识而自豪。因此，美国的学生应该学一点中国的传统，中国的学生则应该多多地学习美国学生那种敢于怀疑，敢于创新，以兼收并蓄为主的学习方式，应该勤于辩论，把辩论放到学习同等的地位上去。

关键是网罗人才

杨教授认为，中国的科技要取得进步，研究工作、尖端学科要取得突破，关键是先网罗人才，然后依据人才的数量和专长开辟研究课题，这样就能最大限度地发挥人才的优势，使研究工作迅速取得进展。

他在谈到这次回国观感时说，近七八年的变化使我感受到一个新的时代就要来临，中国经济的发展也必然会带来教育方式上的一系列变革，总有一天，中国也会出现自己的爱因斯坦。

（原载 1986 年 7 月 11 日中国《现代人报》）

浅谈宇称不守恒和规范场

——徐迟在美国石溪杨振宁办公室访问记(1986年11月)

众所周知,1957年李政道和杨振宁一起得到了诺贝尔物理奖。当杨振宁在美国从事高级学术研究并得到诺贝尔奖之际,他的父亲是一直都在国内的,在上海的同济和复旦两校教数学。1962年他的父亲母亲到了日内瓦,杨博士前去见了面。于是两代人之间,就新中国的许多事进行了多次辩论。儿子说:“父亲说的话和十几年前教育我的话不一样了。”父亲说:“你怎么还没有了解,我正是要告诉你,你们要否定许多从前认为对而实际却是错的价值标准呢。”

这话对于杨振宁是一个新的飞跃起点。我们常说人要转弯是很难的。但一旦转了弯也容易了。70年代初,他多次回国,探望父病,直到父亲长逝,开了追悼会。他在追悼会讲词中,说到了那一场日内瓦的辩论,并说到探病期间,他父亲和他谈的许多话,“再三要我把眼光放远,看清历史演变的潮流……这在我身上产生了很大影响。”

根据台湾出版的1973年《中共年报》所列资料,说“杨氏返美后,曾四次公开发表此行观感,第一次是在康乃尔大学,第二次在石溪纽约州立大学,第三次在瑞士联邦理工学院,第四次在纽约的亚洲协会”。还有其它的资料,毋须多引,从中倒可以看这以后杨博士已投身于一定范围之内的一些社会活动中去了。

例如,1977年4月21日他应马里兰大学邀请,作了《美中关

系——我个人的看法》的演讲，以政论家的姿态出现，他讲明"万里长城之所以成为自太空接近地球的访客最先能辨认的人类建筑物，绝不是偶然的……长城象征着中国历史上的统一概念……贯穿于中国历史的只有一个中国。"他陈述了对远东一般局势的意见，谈了台湾问题和美中关系，说"我对中美两国的未来思索了很久。除台湾问题之外，我看不见两国之间有什么重大冲突。台湾与美国人民的利益并没有真正的关联。而从历史角度看，台湾海峡两岸的人民只允许一种解决办法。我衷心希望中美关系能迅速解决好，使两国人民能处理他们面临的真正重大问题。"他这些话说得甚为得体。

到中美两国终于建交以后，1979 年 1 月 31 日晚间，在以他为会长的全美华人协会和美中协会等举办的欢迎邓小平副总理的盛大晚宴上，杨振宁博士致词说：

"中美建交和邓副总理的访问是近代史上的分水岭性的发展。国际关系从今天开始了新纪元。"

我们的卓越的物理学家说的这句话，说得很有深意。

在杨振宁博士的办公室里，他和我相对坐在一张办公桌对面，聂华桐博士和洪蓝打横。聂坐了一会儿即告辞，留下一篇《我所知道的杨振宁》的文章给我。从我的座位上我可以看到杨的背后墙上挂有三只镜框子，里面装着的都是爱因斯坦的照片。三个满头银发的大头像，有一个衔着烟斗，一直用严肃的深思的眼睛，像在守护我们似的，盯着我们谈话。

杨博士问："你想问我什么？我该怎么跟你谈？"

我说："几个要求早已奉告。主要是两个问题，先说第一个，你得诺贝尔物理奖的那个科研成果是怎么回事。大家都很知道，大家都并不很明白 。你能不能一句话一句话地，用几句话，五句、十句或十来句话，用比较容易了解的话给我、给大家说得简单

明了呢?"

"可以的,"他回答:"我尽可能用最简单、普通的语言讲讲看吧。"他沉思了一下,然后慢慢地一句一句说起来了。他这样说:"在自然界里面有四种基本力量:强力量(使中子和质子在原子核中结合的力量)、电磁力量、弱力量(控制中微子相互作用的力量)以及万有引力——自然界里所有的一切都是由这四种力量组织起来的。"

"1956年以前,众所周知,所有的试验也都表明,这四种力量的每一种都左右对称,正像每一事物都和它镜中对影是一模一样的,专门的术语称之为宇称守恒。"

"如果你说,人并不对称,人的心脏在左边,这并不违反物理学,因为你给一个人制造一个相反的人,他的心脏在右边,只要这两人吃一样的东西,吃的东西的分子螺旋是相反方向旋转,则两人一定是一模一样的,也就是说,宇称守恒的。"

"可是在1956年前后却发现了一些新粒子,它们有着令人非常迷惑的现象无法解释,当时就成为物理学家们最关切的热门问题了。"

"那一年夏天,李政道和我两人在离这儿不远的布鲁克海文试验室里研究这个问题时,曾大胆设想,左右对称,即宇称守恒这件事差不多完全对,却不是完全都对,不是绝对的对,在弱力量里不对,在弱力量里宇称不守恒。"

"但是,以前做过了很多弱力量试验,为什么没有发现过不对称不守恒的现象呢?"

"以前做过的弱力量试验,因未涉及对称、守恒问题,所以没有发现不对称、不守恒的现象,而现在已经发现了这么一些不能解释的现象了,因而应当专门为此作一个试验来证明在弱力量那里是左右不对称,宇称不守恒,那时这一些不能解释的新粒子现

象就可以得到解释了。"

"李政道和我提出，要用这样一组设备，还用另一组如同前者的镜中映相，反过来的设备，两者同时来做一个以弱力量为主要环节的试验，看做出来的结果，如果确证左右竟不对称，弱力量里宇称竟不守恒，就可以解释为什么弱力量里出现了那些令人迷惑的新粒子了。"

"由吴健雄和美国度量局的四位科学家一共 5 人，按照我们两人提出的设计和设备做了半年时间的试验，果然证明了我们两人的猜想，弱力量的宇称不守恒，即震动了世界物理界，从而半年后，我们两人得到了诺贝尔物理奖。"

"现已证明，所有弱力量的宇称都不守恒。它已成了弱力量的理论基石。"

杨博士果真只用了十句话，虽然好几句话都不太短，就把这件事给我说明白了。

我说："你说清楚了，谢谢你。现在是否可以请你回答我的第二个问题，那就是从你得到了诺贝尔奖金到现在，也将近 30 年了。人们本应当非常地关心你的工作的。但你的工作太难懂了，大家无法关心你。可否请你简单明了地告诉我，这些年里你进行了哪些科研项目，取得了怎样的成果？"

"可以的，"他说。从 1957 年以来，他对统计力学，对高能粒子碰撞现象都做了不少工作。但比较重要的一个工作方向，主攻的方向是规范场(gauge field)的研究。

1954 年，他和一个美国人米尔斯教授合作，写了一篇文章，首先提出了规范场的数学结构。当时人们不注意这篇文章。到了 60 年代，先由格拉肖，继而温伯格，后有萨拉姆三位物理学家，引用了他和米尔斯教授文章中的规范场数学结构，构造了一个弱力量的理论。此时它仍未引起足够的注意。到了 70 年代，杨一

米尔斯规范场的"这个数学概念叫纤维丛(fiber bundle)。"说着，他走到我背后的一块黑板前，用粉笔写下了"纤维丛"三个字。他接着又说："我自己对纤维丛也是不大懂得。因为大家知道，今天一个物理学家要跟一个数学家对话的话，常常遇到语言不通的问题，几乎比讲外国话还难懂。"

听了这话，我可大吃一惊，当然，这也是可以理解的。世上最隐晦的秘密，存在于数学的最平常的真理中。数学统治着世界。物理学也要依靠数学才得到了保障。任何形式的抽象概念只有用数学的工具来解释才最为恰当。日新月异的物理学归根结底要用数学来表达来描述。物理学和数学是在并肩前进的。但数学家有时走得比物理学家更远些。物理学家只能和数学家同行才能走到宇宙中更广阔的和最精密的地方去。科学的任何新发现都取数学的形式，没有别的形式可以代替它。数学是宏观世界和微观世界的总建筑师。不懂得数学的人寸步难行时，懂得了数学的人就能百尺竿头，更进一步。杨博士给我解释纤维丛。他讲得很慢，从脑中搜索着尽可能使我理解的字句。但我仍然不能懂得他说的，例如："纤维丛有两种：一种是平凡的纤维丛，就是把一段纸带的两头粘合起来，正面对正面、反面对反面、形成一个圆环。其所以叫纤维丛，是因为它可以把一根根的直棍子绕成一束。另一种是不平凡的纤维丛，就是把一段纸带的两端一正一反地粘合起来，形成数学上的'缪毕乌斯带'，它也可以把许多直棍子绕成一束，不过那条纸带在里面扭了一下，有了一个折痕。"这纤维丛究竟怎么和规范场联起来呢？我还完全没有懂得。

杨博士说："目前绝大多数的物理学家都承认，纤维丛概念引入到物理上来，已经是大家都接受的事实。数学家研究纤维丛已40年了。近代纤维丛最重要的创始人也是中国人，就是世界闻名的大数学家陈省身先生。我10年前去陈先生家里时曾对他

说，把你们数学上研究的纤维丛引进到物理中来，当然我们很高兴。可是也很惊奇，不了解怎么可能物理学家用了同物理现象密切相关的推演方法所得出来的最后一些基本观念，是和你们梦想出来的观念有完全一致的地方。陈先生一听，立即反对，他说，这绝不是梦想出来的。照我们看起来，这完全是按部就班，而且这是正确的。”

（原载1987年1月11日《人民日报》。收入《杨振宁演讲集》，南开大学出版社，1989年，略有删节，标题是《杨振宁演讲集》主编所加。）

杨振宁教授谈传统文化

王家彬　章华　杨再立

杨振宁教授去年接受中国记者采访时，曾就如何对待中国传统文化发表了许多精辟见解。他认为，市场经济发展给社会一些冲击，这些冲击所带来的问题，儒家传统中优秀的部分是可以帮助解决的。美国以个人主义至上为立国之本，因此它把市场经济推到了极端，随之出现了许多社会问题。中国向市场经济方向发展也会出现一些社会问题，比如传统的父母与子女之间的关系问题，在市场经济的冲击下会比较淡一些，不像从前那样制度化、礼节化，可是深厚的亲情关系还存在。这一点是非常好的，它可以对市场经济极端化带来的社会问题进行反拨。

杨振宁教授还谈到个人与社会的关系问题，认为这是西方社会哲学跟儒家社会哲学主要的不同点。西方哲学是个人至上。中国的传统不是这样的，中国的传统是每个人跟他的家庭、跟他的周围、跟整个社会联系在一起的 。假如个人的利益跟社会的利益发生冲突，在中国的传统文化里，社会利益是第一位的。那么，在这一观念上，今天的中国从儒家传统向西方传统走了一步，比较强调个人的价值了。这不要怕，走了这一步我看更好。因为不论哪种观念如果弄得太根深蒂固，尤其是将其礼教化、神圣化，会产生不好的后果，或者说阻碍进步的后果。往西方传统走得太多了 ，当然也不好。我想，目前整个中国走的方向是好的。我并

没有觉得现在出了什么危险。比如知识分子下海，我看并不是很令人忧虑的事情。因为目前中国最重要的是发展经济，多一些有知识的人搞经营，应该说是好事。过去中国非常注意科学，培养了太多的人，用有限的资源去供过多的人去搞研究，反而会引起科研的困难。不如把过多的一部分人拉过来向市场经济发展，我觉得是好事，不是坏事。

（原载《人民日报》海外版，1994 年 7 月 21 日）

杨振宁谈我国新时期的人才培养

朱志明

出于对中国深厚的感情，杨振宁教授自1971年起经常归来探亲访问，迄今已有25次。杨教授是一位世界著名的物理学家，他的关心，自然要表现在物理学的研究上。然而，只看到这一点是不够的，因为我们仔细阅读有关他的报道文章，就会发现，他关心的另一个重点，是我国的教育事业。人才的培养，尤其是科技人才的培养，似乎是他更注意的问题。

根据对我国内几家主要报纸的不完全统计，1978年至今，杨振宁教授通过写信、接受记者采访、作报告、出席座谈会等形式，总共14次专门论述或部分论及我国的教育问题。他的人才培养观点可以分成两大类 。一类是针对教育者的，这个“教育者”是广义的，包括负有教育责任、与教育有关的社会各个部门、团体与个人；另一类是针对受教育者的，受教育者主要指在校学生，包括出国的留学生。

宏观上理论阐述（主要对教育者）

大概和长期从事理论物理的研究有关，杨振宁总是主张从宏观的角度考虑人才培养问题。

一、人才培养在科技发展中的地位

近年来，杨振宁一直在考虑这样一个问题："到底是什么原因，近代科学没有在中国开始？"[①]他认为，科技发展的诸因素中，最主要的是教育体制是否合理。他在上海科技协会所作的一次演讲中说："我曾经同我的老师泰勒讨论过世界各国科技发展成功的因素。泰勒说，一般人觉得一个发展中国家最重要的是资金，他认为这个想法是错误的。有的发展中国家钱很多，但发展并不很快。反过来说，第二次世界大战后的日本和德国，刚开始经济上极端困难，可是他们经过30多年的努力，工业发展遥遥领先。泰勒认为，这里面的理由当然很多，不过主要的是这两个国家的教育体制使他们的人民都有一定的科技知识。在二次大战中，虽然他们被破坏得很厉害，可是他们掌握现代科技知识的人相当多，所以他们战后工业才有这样惊人的发展。我觉得，他讲得有道理。我想，中国大学的学生人数太少了。"[②]我国是一个发展中的国家，虽然在科学技术方面曾经领先于世界，但是近百年来却落伍了。现在要振兴、赶上世界潮流，应该采取什么样的措施？杨振宁的意见显然是有意义的。

二、人才培养和社会观念的关系

杨振宁认为，教育的许多问题，首先是一个社会观念问题。他曾就中国从事农业科学研究的人数少，报考农学的人数更少这一问题谈了自己的看法。他说："美国是农业发达的国家，成功的经验中有一条是，美国在100多年以前设立了所谓'有土地的州立大学'。这个教育体制的基本目的是给所在州的农业作出贡献。这样做的结果，使美国的农业大大发展了。现在中国年轻人对学农不感兴趣，怕将来到农村去，把农村工作看作是艰苦的，没

有出路的。假如真是这个原因，我想这是个复杂的社会问题，不是学校所能解决的。我建议大家对这个问题讨论。如果不讨论的话，一个有10亿人口的国家，整个现代化要搞上去是有严重困难的。”③

1985年7月，他就上海的中学生茅嘉凌获国际奖而又被迫退学事件指出，茅嘉凌事件不只是个学校教育问题，而首先是一个社会观念问题。中国的教育传统认为，书读得好，分数高的人最有出息。这就在客观上阻碍了有创造才能的孩子的发展。他说，由于茅嘉凌得过奖，他的事情受到了重视，更重要的是要去注意那些未得过奖的“茅嘉凌”。他认为要依靠社会各方面的共同努力使更多的“茅嘉凌”崭露头角。政府、教育工作者、家长、电影、电视、报纸等都要重视和鼓励有创造才能的孩子，为他们的活动创造条件。譬如，通过一种机构，把那些有创造才能的孩子组织起来，经常集会，互相交流。他说，激发年轻人更广的求知欲，引导他们向广的方面发生兴趣，在此基础上培养他们的独立思考能力，这对于中国的四化，是功德无量的。④

在一次和中国留美学生谈学习方法的座谈会上，他在比较了东西方教育的差别后指出，改进传统的教育方法，涉及到整个社会风气，因而是件困难的事。这件事如做成功，也是一种革命。这是一个比在一门学问里面创造新的东西还要难得多的事。这是根深蒂固的事，不是一两天就能改过来的，只能每一个人从自己做起，了解和掌握两种学习方法的必要性，回去教书的时候再去影响自己的学生。⑤

杨振宁的这些话有三个主要的意义。第一，当我们讨论教育问题时，不能就教育论教育，要把眼光放宽，指向整个社会。立足点高了，才能解决教育的本质问题；第二，培养人才不只是教育工作者的事情，社会的各个方面都有责任；第三，不合时宜的教育传

统的改革、和教育有关的陈旧的社会观念的改变，需要一个长时间的过程，不能企求一蹴而就。行之有效的办法是每个人都认清这件事的伟大意义——这是一场革命，要从自己做起。

三、人才结构要适应国情特点

作为一个科学家，杨振宁总是实事求是地考虑问题。他在谈论人才结构时，一再强调要符合本国的实际需要。他说："各个不同的社会所需要的科技发展是不一样的，能够发展的科技方向也是不一样的。从 1971 年我第一次访问新中国起，就不断地提出过，在这里(指美国——笔者)学习物理的中国学生需要化更多的力量注意中国所需要的物理方向。我所搞的高能物理，不是中国所急需要的方向，这是费钱而不赚钱的方向。什么样的方向较合乎中国国情呢？譬如说发展固体物理就较合乎中国国情。农业、化学等方面很重要。由于大家公认还未开发的南海油田是世界上最大的油田，中国的石油工业很快变得非常重要。这里需要大量的化工方面的人才。"⑥

针对我国 1979 年夏季高校招生，报考化学的学生比较少的情况，他说："这是我不能理解的。我是念粒子理论物理的。粒子理论物理是一个很重要的学科，我相信在 30 年、50 年或 100 年以后，肯定会与人类的日常生活发生关系。基本粒子的研究是会影响世界生产力的。但是，这是从长远观点讲的。长期投资和短期投资的分布，各国需要不一样，不能一概而论。在中国，假如把我干的那一行强调得太高了，将会产生不良影响，也许会使许多应该念化学的都想来学基本粒子，这类问题就不是一般问题了。"⑦有一次，北京大学的学生问他关于中国与外国在理论物理方面的差距问题。他沉吟了一下才说："这个问题我不知道怎样回答。我想说，理论物理所面临的问题，不是中国目前所要解决

的问题。理论物理在中国似乎很热，这是一种迷信。”[8]他在上海的一次谈话指出，中国发展需要两种人才。一种是从事基础理论研究的，他们为科学技术的发展提供理论依据，人数不必很多；一种是善于动手干的，他们能用实际知识解决生产问题、经济问题和社会问题，人数是大量的。[9]他特别强调，中国的特定情况决定了搞四化建设最需要善于动手干的人。为了这种人才得以健康成长，他不仅多次呼吁中国社会各方面予以重视，还亲自身体力行，为他们创造条件。目前正由上海交通大学举办的“亿利达青少年发明大奖赛”，就是他创导的，并由他担任评委会名誉主任。出资设立这项奖的香港亿利达工业发展集团董事长刘永龄先生本来建议用“杨振宁青少年发明奖”这个名称，他不同意，他说还是“亿利达青少年发明奖”好，可以鼓励企业家和社会各界人士都来关心中国善于动手的人才的培养。[10]

杨振宁的这些意见对于我国学校结构的改革（各级各类学校的构成比例）、高等学校专业结构的改革，以及社会观念（重视理论人才，轻视应用人才）的改变等，都有参考价值。事实上，我国近几年教育改革的前进步伐，是和这些意见相吻合的。

四、辩证地分析、比较中国和外国的教育

杨振宁在北大时，有位学生问，中国教育存在的最大问题是什么？他肯定地回答：“这个问题我可以明确地告诉你。一句话，就是学生功课太多，考试负担太重，没有多少时间干别的事。”他说，中国的教育一方面受了传统教育思想的影响，另一方面，受了解放以后体制的影响，太重视一点一点的知识的积累，总是强调要给学生讲得更多、更多，而忽视了培养学生独立思考能力。[11]他还说，中国的教育传统太注重钻书本理论的“做学问”道路。这样会把一部分不适合做学问的人硬推到这条路上去。这对他们不

利,对社会也不利。不注意动手能力的训练,轻视技术、企业、社会服务等方面的工作,一切的一切围绕考试,这是不健康的做法。他又认为,中国目前的高考制度所造成的一个重要问题是使会动手的人吃亏。他说:“我接触到很多第一流的物理学家,他们很能动脑筋,很会做实验,却不善于应付各种考试。如果光凭考试取人,这些人就可能被埋没。一个人会动手也是宝贵的长处,经过学习,加上一定的机遇,就可能成为中国最需要的搞实验的人。如何想办法不浪费这样的人才是个很重要、很紧迫的问题。”[12]他认为,西方在教育上的有些做法值得中国学习。比如,美国大学讲授的内容和实际问题比较接近,使学生知道哪些问题有发展前途。学生从中学会了教师的思想方法,学会了自己选择研究方向。[13]

值得注意的是,杨振宁无论在评论中国的教育,还是在介绍外国的教育时,从不一概而论,全盘否定或全盘肯定。他抱着实事求是的原则,辩证地进行分析比较。他认为,美国的长处是比较开放,尊重学生,鼓励学生自由发展自己的特长,短处是对学生太放纵,缺少必要的管教,使本来能够成才的人荒废掉了。中国的长处是管得很严,中学阶段的基础训练比较扎实。在美国的许多大学里,中国学生的数学运算等基本功比美国学生强,短处是过分重视“做学问”——书本理论,忽视动手能力的培养。[14]他说,中国教育的最大一点好处是使学生比较有耐心,懂得需要努力,有个过程,不能一下子学到手。而在美国生长的孩子老爱讲一句话:这东西没多大意思。还没有过去三分钟就说“没意思”,不想再听下去,当然不可能有意思了。[15]他认为,中国的传统教育能使学生深入地学到许多东西。中国留学生所以在做研究工作时不安、着急,主要是因为搞研究需要走的路与他们过去的学习方法完全不一样。过去的学习方法是跟着人家指出的路走,现在则是

要自己去找路。习惯了跟着走的人，一下子要自己找路，就茫茫然不习惯了。这里有个心理问题，这个问题如得到解决，总的来看，还是占便宜的。他还用自己在西南联大和美国芝加哥大学学物理的亲身体验，论证了这个道理。[16]

杨振宁的这些论证，乃应成为我们教育改革工作的参考意见。

微观上具体指导(主要对受教育者)

杨振宁在人才培养方面所重视的另一个重点是帮助中国学生(包括在国外的留学生)寻找正确的学习途径，学而能够成才。

一、选择正确的方向

杨振宁认为，学习最重要的是选择正确的方向。他说："我看到物理界有许多人在念书的时候，学习成绩都很好，可是过了二三十年，他们的差别却很大。有人取得了很大成就，有人老是做一件事，费了很大的劲，却没有什么成绩。什么原因呢？这里虽然有能力等问题，但都不是主要的。最主要的是会不会选择正确的方向，哪个方向将来会有新的发展。如果你在做研究生的时候，掌握了两三个方向，这些方向在5年或10年内有大发展的话，那么只要你是一个不坏的研究生，你就一定有前途。如果你搞的那个方向是强弩之末，你再搞进去，不知道转行，你就不会有大成就。那么，怎么知道哪个方向会有发展呢？比如10年前很红的方向，一般来说，经过10年的研究，往往过时了。每个领域常常是因为有了新的问题，新的办法，才变得发达起来的。但是经过了十几年的研究，它的新东西快要挖掘完了，再走进这个领域就没有什么大成就了。这是需要睁大眼睛仔细了解的。"[17]

他在回顾自己进行物理学研究所走过的路程时也指出，一个

青年人，在初出茅庐的时候，假如走进的领域是将来大有发展的，那末他能够做出的比较有意义的工作的可能也就比较大。他说，40年代，50年代初，物理学发展了一个新的领域，这就是粒子物理学。他和他同时的物理工作者很幸运，和这个领域一同成长。[18]

怎样才能掌握住方向呢？他建议，每星期抽一定时间去图书馆，特别是系里的图书馆去乱看看，浏览一下，过了两三个月，就会了解那些介绍性的杂志(有专门的与不专门的)。看多了以后，就能掌握住自己那个领域的发展方向。[19]他还指出，把握方向还必须根据个人的能力特点。他曾想在实验方面做出一篇论文来，但是他发现自己的动手能力比较差。他开玩笑地说，那时，实验室里有个笑话：凡是有爆炸的地方就有杨振宁。后来，在导师泰勒的建议下，他放弃了做实验论文的企图。尽管有些失望，因为实验不成功的重要原因之一是，题目本身是做不出来的。但是他还是果断地改变了方向。他幽默地说："这是我今天不是一个实验物理学家的原因。有的朋友说，这恐怕是实验物理学的幸运。"[20]

缺乏选择方向的强烈意识和判断方向的能力恐怕是我们中国学生的一个致命弱点。我们认真听听这些话，细细咀嚼一下，一定能受到启发，得到收获。

二、知识和能力的关系

杨振宁对中国传统教育过分重视知识的积累持批评态度，但他并不是不要知识积累。相反，对于必要知识积累的重要性，他曾多次强调。他认为自己在物理学上取得的成绩和在中国的学习、知识积累大有关系。他说，西南联大的学习，使他在做学问上打下了一个扎实的基础。[21]"自己一生在物理上的见识、视野、鉴

赏能力，以及对物理的态度，可以说是年轻时在中国奠定的基础。”[22]因此，对西南联大的学习生涯十分怀念，他说：“西南联大的教学风气是非常认真的。我们那时候所念的课，一般老师都准备得很好，学生习题做得很多。所以在大学的4年和后来2年研究院期间，我学到很多东西。”[23]他对当时的导师吴大猷和王竹溪，始终抱着崇敬的心情。1957年冬，他在广播中得知自己与李政道同获诺贝尔奖时，立即写信给吴大猷先生，说他的成绩与吴老师有关，表示对老师的感激。[24]1984年，当他得知王竹溪先生逝世的消息后，不顾工作繁忙，不远万里赶到北京，表示一个学生对老师的深切悼念。[25]

杨振宁重视知识的积累，更重视能力的形成。他说：“我认为，知识的积累并不是目的，大学教育的目的，是训练有独立思考能力的年轻人。独立思考需要有一定的知识，但不能本末倒置。知识要有利于创造。”他直接了当地指出：中国的学生是知识太多了，活的思想太少了。[26]

三、兴趣问题

兴趣在一个人成长中所起的作用，是杨振宁数次谈论的话题。他说，在学校里学生念什么专业，应兼顾两个方面的因素：外在因素（如国家的需要和学校的条件）；内在因素（如本人的兴趣和能力）。但目前的体制（指中国教育体制——笔者）对内在因素考虑不够。这不利于科技的发展，不利于培养出有创造性、有独立见解、有做开拓工作能力的人。[27]他认为中国经常使用的一些字眼并不是很恰当的。比如“十年寒窗”的提法，即要学生苦读。假如一个人觉得读书很苦的话，要把学问做得好，要出成果，恐怕是很困难的。对一件事情有兴趣，才有可能在这件事情上取得很大成就。一个人要出成果，因素之一就是要顺乎自已的兴趣，然

后再结合社会上的需要来发展自己的特长。有了兴趣,"苦"就不是苦了,而是乐。到了这个境地,工作就容易出成果了。[28]

杨振宁的意见值得我们思考:学校在安排学生专业的时候,有没有把他们的兴趣因素放在一个适当的位置;学生在选择自己的专业时,有没有充分地结合自己的兴趣。

四、博和专

杨振宁是一个物理学家,他在理论物理上的卓越成就是世界瞩目的。他最大的贡献并不是已经获得诺贝尔奖的宇称不守恒研究,而是规范场理论:杨振宁一米尔斯非阿贝尔规范场数学结构。物理学研究四种基本的力的相互作用,电磁作用、万有引力作用、弱作用和强作用,规范场理论合理地统一了所有力的相互作用。1979 年,美国学者格拉肖、温伯格和萨拉姆以杨一米尔斯数学结构为基础提出的弱作用理论获得了诺贝尔奖;[29]1984 年,意大利学者鲁比亚和荷兰学者范德米因发现重光子——一种传递弱力与电磁力的粒子荣获诺贝尔奖,而重光子的发现,也证明了在自然界,弱力和电磁力可以统一在共同的基础上。[30]这些证实了杨一米尔斯规范场不但是一个漂亮的理论,更重要的是,它符合了实验的结果。现在,世界上关于规范场的科学论文,每年在 1000 篇以上。[31]因此,美国和其他国家的一些科学家认为他应得第二次诺贝尔奖。[32]有人认为,他是爱因斯坦之后,最有贡献的理论物理学家之一。[33]

但是,光看到他在物理上的成就是不够的,他同时又是一个兴趣广泛、知识渊博的百科全书式的学者。有的美国学者说他知道许多不应该知道的事情。[34]他对中国的古典文学、中国的历史,对传记和考古——中国的以及埃及和其他许多地方的文物古迹都很了解,他还爱好音乐、艺术和摄影。有一次,他游览日本奈良

古迹，触景生情，一字不漏地将李商隐的长诗写了下来；在参观巴黎篷皮杜博物馆的现代画廊时，他很具体系统地向同行者介绍现代画的不同人物、不同派别以及他们的各自特点。[35] 1978年，他飞越西藏高原，目睹大自然美景，即兴抒情，写了两首七绝《时间与空间》。[36]

杨振宁认为，中国的高等教育使学生向专的方向发展，有好处，也有不足之处。太专了，不容易鼓励学生向科学技术和工农业生产中活跃的领域去发展。[37] 他说："我感到，在念书的时候，学习的面比较广一些，后来通过比较广泛的接触，向各个方面发展，这种方法容易出研究成果，效率也较高。"[38] 他经常教导中国留学人员，要把视野像天线一样放开，发现了新东西就要一下抓住，吸收为自己的学问。他鼓励留学生坚持去听自己专业以外的各种通俗讲座。他说，听不懂没关系，硬着头皮去听，在基本不懂的情况下争取从中抓住能学到的东西。[39]

杨振宁在正确处理博与专的关系方面，为人们树立了一个好榜样。当然，并不是每个人都能成为像他那样的百科全书式的人才的。博到什么程度，专到什么程度，博与专结合到什么程度，都应视各人的具体情况而定。然而，博专结合作为一种原则，则是每个希望成才的人都必须牢记的。过早地专，缺少博为基础的专，是难以成为一个出色人才的。

五、学习方法

针对中国学生读书比较"死"的特点，杨振宁提出了以下几种学习方法。

第一，尽量多读参考书，博览群书，扩大知识面。他指出，只要时间和能力允许，一般来说，读书越多肯定对学习越有好处。有些事物和学问并非一开始就被人们懂得和理解的，但是只要持

之以恒，知识丰富了，终能发现其奥秘。[40]

第二，不要死钻牛角尖。他说，对于一个课题，如果经过长时间的钻研仍然解答不了，不妨暂时搁一下，换一个新的题目。经过一段时间，有了新的启发，原来解答不了的难题便可能迎刃而解。[41]

第三，采用“渗透性”方法。他说，有两种对应的学习方法，一种叫做“渗透法”，另一种叫做“按部就班”。知识是互相渗透和扩展的，知识的积累更是如此。知识往往在你不知不觉、似懂非懂中积累和丰富起来。不要害怕打破那种“按部就班”的常规。[42]

第四，推演法和归纳法结合，更注重归纳法。他在西南联大读书时，学习方法主要是推演法，是从数学推演到物理的方法。到美国芝加哥大学以后，他跟导师泰勒学习，使用的是倒过来的方法，从物理现象引导出数学的表示方法。他认为两个地方的教育都对他以后的工作有决定性的作用。但是，尽管推演法的学习使他打下了做学问的扎实基础，他却更看重归纳法的学习。他说，归纳法的起点是物理现象，从这个方向出发，不易陷入形式化的泥坑。对于今天中国物理学教学体制的更改，他感到很高兴，指出：多增加一些不绝对严密的、注重归纳法的课，对于学习会有很多好处。[43]

以上四点学习方法，是杨振宁针对中国的特殊情况提出来，切中时弊，读了令人产生切肤之感。特别是“渗透”一法，更值得习惯于“按部就班”的我国教育者和受教育者斟酌采纳。

六、合作与交流

杨振宁认为，搞学术研究的人不仅要善于独立思考，也要善于吸收别人的东西。他说：“在科学研究中，如果没有与别人合作交流，只是自己埋头钻研，视野不开阔，在科学道路上就难免有局

限性，还容易发生偏差。”“一个国家要登上世界科学的高峰，没有广泛的交流与合作是不可能的。我们从事科学工作的人都应该认识到这种科学发展的趋势。”他认为，合作与交流，不仅应在本学科内进行，也可以涉及到外学科。他介绍说，在他所在的大学里，经他倡议，每星期二举行一次特别的集会，称为“非正式讨论会”。会上，化学家、物理学家、经济学家、医学专家等各方面的学者各自交流自己领域学术研究情况。这种介绍不很专门，一般大家都能听懂。他说，这对于各学科的研究都有启发，使大家了解其他学科的发展方向，对于沟通各学科间的情况，促进科学发展，大有好处。[44]他本人经常到世界各地去，走到哪里，就同哪里的科学家进行学术交流。他说：“在许多合作中，与复旦大学的合作是广泛的，规模也是较大的。在我的经验中是最有成效的合作中的一个。”[45]在国内，他担任了北京大学、复旦大学、华东师范大学等院校的名誉教授，目的之一就是为了加强交流。

在我国，知识界的合作交流理应开展得比较好。我们的体制为这种合作交流提供了条件和保障。但是令人遗憾的是，由于受到传统的陋习的影响，门户之见，互相封锁，同行相轻，或者隔行如隔山的情况并不少见。为了国家和民族的昌盛，现在是清除这类陋习的时候了。

杨振宁对我国新时期人才培养的关心可能出于这样两个主要原因：其一，他对于曾经度过了青少年时代的出生地怀有深厚的感情。他想念亲人，怀恋旧时的老师、同学，希望中国人民生活幸福，国家繁荣昌盛，在科技方面摆脱落后的面貌，赶上世界先进潮流。用一位美籍华裔学者的话来说，他是一个牢记根本的人；[46]他 1945 年赴美，1964 年才入美国籍，留在美国，心理非常矛盾。[47]尼克松访华后，他即数次到中国，并在美国和世界各国作访华报告，为海外华人理解中国，为中国外交政策的胜利，作出了贡

献。[48]他这么做在当时是冒风险的。[49]他出任由何炳棣、任之恭教授发起的全美华人协会主席，对在美华人尽可能予以关心。[50]其二，他对于我国在新的历史时期所实行的政策、方针非常支持，经常称赞。[51]他认为，中国近年来取得了巨大的进步，原因之一是有"稳定正确的指导思想"。[52]这也许是他近年来更加频繁地访问中国，更加热心于中国的科技和教育事业的重要因素吧。

（本文所引部分资料由杨振宁教授提供，谨在此示感谢。）

注：

①②③ 薛福康：《杨振宁教授谈人才培养》，《光明日报》1982年6月26日。

④ 柏树梁、陈保平：《更要注意那些未获奖的茅嘉凌》，《青年报》1985年8月2日。

⑤ 顾文福：《培养独立思考有独到见解和独立研究的能力》，《人民日报》1982年6月24日。

⑥ 严学高：《杨振宁教授谈学习方法》，《光明日报》1984年5月18日。

⑦ 杨振宁：《科技人才培养和学校、科研机构的管理》，《人民日报》1980年3月26日。

⑧⑫ 刘学红、李杰：《杨振宁博士在北大学生中》，《中国青年报》1985年1月2日。

⑨⑪ 朱志明、余建华：《鼓励青少年提高动手能力》，《解放日报》1985年7月31日。

⑩ 朱志明、何戎：《杨振宁与"亿利达"及人才的培养》，《人才信息报》1985年12月5日。

⑬ 严学高：《杨振宁教授谈学习方法》，《光明日报》1984年5月18日。

⑭ 朱志明：《杨振宁谈人才培养》，《教育理论与实践》第六卷，1986年1月。

⑮ 薛福康：《杨振宁教授谈人才培养》，《光明日报》1982年6月26日。

⑯⑰　严学高:《杨振宁教授谈学习方法》,《光明日报》1984年5月18日。

⑱　《杨振宁教授谈读书教学四十年》,《光明日报》1983年12月31日。

⑲㉑㉓㉖㉗　《杨振宁教授谈读书教学四十年》,《光明日报》1983年12月31日。

⑳㉒　严学高:《杨振宁教授谈学习方法》,《光明日报》1984年5月18日。

㉔　张高峰:《吴大猷和杨振宁李政道》,《人民日报》1985年11月17日。

㉕　许遐达:《杨振宁专程悼念导师王竹溪》,《文汇报》1984年7月7日。

㉘　聂华桐:《我所知道的杨振宁》,《物理》。

㉙㉚㉜　潘国驹:《杨振宁该获第二次诺贝尔奖》,马来西亚《星洲日报》,转引自《台湾与海外文摘》1985年第7期。

㉛　《卓有成效的合作》,《文汇报》1978年8月7日。

㉝㉟　聂华桐:《我所知道的杨振宁》,《物理》1984年第6期。

㉞㊲㊳㊴　薛福康:《杨振宁教授谈人才培养》,《光明日报》1982年6月26日。

㊱　王绪圻:《诺贝尔奖金获得者杨振宁》,《人民日报》1985年7月3日。

㊵　杨振宁:《科技人才培养和学校、科研机构的管理》,《人民日报》1980年3月26日。

㊶㊷　钱文福:《培养独立思考有独到见解和独立研究的能力》,《人民日报》1982年6月24日。

㊸　《杨振宁教授谈读书教学四十年》,《光明日报》1983年12月31日。

㊹㊺　《卓有成效的合作》,《文汇报》1978年8月7日。

㊻㊼㊽㊿　聂华桐:《我所知道的杨振宁》,《物理》1984年第6期。

㊾　台湾《中共研究杂志社》出版的《一九七三年中共报》说:"杨振宁三年(1971至1973年——作者)共去大陆四次,探亲奔丧是事实,但所用时间

非常少，由中共安排的活动所化时间却非常多。返美后，公开发表五篇亲共言论，影响不能说不大。”

㉛ 《杨振宁称赞我科技方针》，《人民日报》1983年2月26日。

㉜ 杨振宁：《在北大受聘仪式上的讲话》，香港《大公报》1985年1月4日。

（原载《华东师范大学学报》教育科学版，1986年第3期）

杨振宁和他的规范场(1995)

倪既新

在多数人的印象中，杨振宁这个名字是同宇称不守恒理论联系在一起的，因为正是这个理论的创立，使杨振宁成了诺贝尔奖的获奖人之一。其实，杨振宁的最高成就，和他对科学最杰出的贡献，是早在他同李政道一起推翻宇称守恒定律之前，于1954年和罗伯特·米尔斯共同提出的“杨—米尔斯规范场理论”。今年5月4日，美国富兰克林学会将1994年度的鲍尔科学成就奖颁发给了杨振宁，就是为了表彰他在建立规范场理论中所做的杰出工作，并确认他为可以同牛顿、麦克斯韦和爱因斯坦齐名的世界物理科学大师。

“他的理论很大程度上重构了近40多年来的物理学和现代几何学”

富兰克林学会是为纪念本杰明·富兰克林而命名的，创立于1824年，是一个设在美国宾夕法尼亚州费城的一流的科学技术中心。本杰明·富兰克林是美国18世纪时仅次于华盛顿的著名人物，他既参加过独立宣言和美国宪法的起草，也有过像避雷针这样当时了不起的科学发明。学生时代的杨振宁十分崇敬这位伟大的发明家和思想家，为之，他在1945年刚到美国留学时，按照那里的习俗，给自己起的英文名字就叫弗兰克。既似偶然又似

必然的是，1992年，杨振宁获得了富兰克林奖章，而正好半个世纪后的今年，他又获得了由富兰克林学会颁发的鲍尔科学成就奖。更有意味的是，鲍尔奖的颁奖颂词中特别提到了，杨振宁"在提倡中国和西方之间的相互了解，和在全球各个角落促进青年人的科学教育上，都反映了富兰克林本人所倡导的科学和人文精神。"

鲍尔奖是美国众多科学奖中地位崇高和奖金最丰厚的奖，它是由一位叫汉尼·鲍尔的费城商人晚年时卖掉了他的化学工业公司，把资金捐给富兰克林学会作为基金而设立的。鲍尔奖每年同时颁发给一位成就卓著的科学家和一位商业领袖。只是两项奖有些区别：商业领袖奖只颁发一枚"本杰明·富兰克林国家纪念奖章"，而科学成就奖既颁发奖章，还有25万美元奖金。

鲍尔奖设立至今虽然只有五年的历史，但声望却已很高，其原因当然不光是在于它奖金数额的巨大，最主要的是它的主持者富兰克林学会在科技界的地位，以及学会对获奖者评审的超乎寻常的严格。就科学成就奖而言，按其规则，先由学会常设的科学艺术委员会筛选出候选人，然后将名单广泛告知各国科学家，进行一次世界性的评价复核，最后，再请由杰出科学家组成的科学成就奖评选委员会来评出获奖人。

杨振宁是荣获鲍尔奖的第一位物理学家。对他的成就，颁奖颂词中这样评价说：杨振宁"对规范场理论的叙述综合了有关自然界的物理规律，并且增加了我们对宇宙基本动力的理解，作为20世纪观念上的杰作，它解释了原子内部粒子的相互作用，他的理论很大程度上重构了近40年来的物理学和现代几何学。"

规范场已被公认为20世纪最伟大的理论结构之一

41年前，杨振宁在纽约长岛的布鲁克海文国家实验室做访

问学者，当时与他同一个办公室的是一位博士后研究生米尔斯。杨振宁经常同米尔斯一起详细地讨论他早在西南联合大学时就开始深感兴趣，到美国后又作过许多努力的场论问题。最后，两人共同写了两篇论文，提出了非阿贝尔的规范场理论，即杨—米尔斯理论。

1984年12月，为了纪念杨—米尔斯规范场理论发表30周年，中国科学家们曾在北京举行过一次隆重的集会。会上，米尔斯对当年的合作作了深情的回忆，他说："杨振宁是一个才华四溢，又是一个非常慷慨引导别人的学者。我们不仅共用一个办公室，杨振宁还让我共用了他的思想……"

今天，物理学所研究的最基本最主要的内容就是场。而到目前为止，人类只发现了三个场：第一个，麦克斯韦的电磁场；第二个，爱因斯坦的广义相对论引力场；第三个就是杨振宁的规范场。从本质上说，这三个场是一脉相承的，只是当时，杨振宁和米尔斯没有意识到这一点，而且他刚提出这个理论时，还受到过许多著名物理学家的质疑。到了60年代，由于实验的发展，科学家们想要寻找一个描写弱作用的理论，先是一直没有成功，后来有人引用了杨—米尔斯文章中的数学方程结构了一个理论，却没有引起重视。直到1970年，又有人在深入研究和实验中确认了这个弱相互作用的理论，才进而发现这种理论的基础就是杨—米尔斯规范场。所以，近十几年来，规范场理论所发出的耀眼光辉，已被世界物理学家们公认为是20世纪最伟大的理论结构之一。

不管是否能再获一次诺贝尔奖，
他都是20世纪科学史上的一座丰碑

规范场理论十分专门深奥，不过杨振宁对它作过通俗的解释："我们研究化学、物理的人，是要研究物质的构造。我们现在

知道物质是由分子、原子构成的，原子又有更小的结构，是由质子、中子跟电子构成的，而质子、中子现在又知道是夸克构成的，所以我们研究的对象之一，就是要知道这最后的粒子是什么，我们的学问也就叫基本粒子。可是，单知道这些粒子是夸克以后，还并不能够解决所有的问题，还需要知道它们之间的力量是什么？也可以说是既要知道它基本的结构是什么东西？是什么粒子？还要知道粒子之间的力量。最近这20多年来，发现所有这些基本的力量，都是用一种理论可以表示的，这理论就叫‘规范场’。”

正因为如此，另一位诺贝尔奖获得者、著名实验物理大师丁肇中在他写的《杨振宁小传》中有这样的一段话：“1954年他与米尔斯发表的规范场理论，是一个划时代的创作，不但成为今天粒子理论的基石，并且在相对论及纯数学上也有重大的意义……”

从权威的统计资料中可以知道，迄今为止，各类已发表的科学论文中引证杨—米尔斯规范场理论的次数已超过了1200次。有三位物理学家就是因为成功地运用这个理论，得到了正确的实验结果，从而共同获得了1990年的诺贝尔奖，又有一位数学家也因为引用杨—米尔斯规范场方程，而取得了拓扑学上的重大突破。所以，近年来有好多科学家呼吁，就此应当授予杨振宁第二次诺贝尔奖。

这里还有必要提到的是，按照鲍尔奖的颁奖规则，获奖科学家的获奖项目，必须是还没有得过诺贝尔奖的项目，这样，作为第五位获得鲍尔奖的杨振宁，便成了第一位因为其他项目而荣获过诺贝尔奖的科学家。那么，杨振宁会不会因为规范场理论而再得一次诺贝尔奖呢？虽然这种呼声早已纷纭而起，诺贝尔奖评选委员会也不止一次地考虑过这个问题，但是杨振宁本人却并不在意，他一直把精力花在新的研究领域，花在对公众有益的科学和

社会工作上。他认为，诺贝尔奖是"可遇而不可求"的，对于人生来说，该追求的是对社会，对人类的贡献。

确实，从整个科学发展史来看，一个科学家对科学的贡献大小，并不能单从有没有得过诺贝尔奖去评判。对杨振宁来说，不管是否能真的再得一次诺贝尔奖，他在20世纪科学史上的大师地位都是不可动摇的，因为他的杨—米尔斯规范场、他的宇称不守恒理论、他的杨—巴克斯特数学方程，以及他在统计力学、凝聚态物理和科学史方面的杰出成就，早已成了一座座对社会、对人类卓有贡献的不朽丰碑了。

（原载1995年7月22日《文汇报》）

附录四

杨振宁科学论文英文目录

(1944—1980)

(*Papers in double brackets are included in his "Selected Papers"* [1983].)

[44a] C.N. Yang. "On the Uniqueness of Young's Differentials." *Bulletin of the American Mathematical Society* 50, 373 (1944).

[44b] C.N. Yang. "Variation of Interaction Energy with Change of Lattice Constants and Change of Degree of Order." *Chinese Journal of Physics* 5, 138 (1944).

[45a] C.N. Yang. "A Generalization of the Quasi-Chemical Method in the Statistical Theory of Superlattices." *The Journal of Chemical Physics* 13, 66 (1945).

[45b] C.N. Yang. "The Critical Temperature and Discontinuity of Specific Heat of a Superlattice." *Chinese Journal of Physics* 6, 59 (1945).

[47a] C.N. Yang. "On Quantized Space-Time." *The Physical*

Review 72, 874 (1947).

[47b] C.N.Yang and Y.Y.Li. "General Theory of the Quasi-Chemical Method in the Statistical Theory of Superlattices." *Chinese Journal of Physics* 7, 59 (1947).

[48a] C.N.Yang. "On the Angular Distribution in Nuclear Reactions and Coincidence Measurements." *The Physical Review* 74, 764 (1948).

[48b] S.K.Allison, H.V.Argo, W.R.Arnold, L.del Rosario, H.A.Wilcox, and C.N.Yang. "Measurement of Short Range Nuclear Recoils from Disintegrations of the Light Elements." *The Physical Review* 74, 1233 (1948).

[49a] T.D.Lee, M.Rosenbluth, and C.N.Yang. "Interaction of Mesons with Nucleons and Light Particles." *The Physical Review* 75, 905 (1949).

[49b] E.Fermi and C.N.Yang. "Are Mesons Elementary Particles?" *The Physical Review* 76, 1739 (1949).

[50a] C.N.Yang. "Selection Rules for the Dematerialization of a Particle into Two Photons." *The Physical Review* 77, 242 (1950).

[50b] C.N.Yang. "Possible Experimental Determination of Whether the Neutral Meson is Scalar or Pseudoscalar." *The Physical Review* 77, 722 (1950).

[50c] C.N.Yang and J.Tiomno. "Reflection Properties of Spin 1/2 Fields and a Universal Fermi-Type Interaction." *The Physical Review* 79, 495 (1950).

[50d] C.N.Yang and David Feldman. "The S-Matrix in the Heisenberg Representation." *The Physical Review* 79,

972 (1950).

[51a] Geoffrey F. Chew, M. L. Goldberger, J. M. Steinberger, and C. N. Yang. "A Theoretical Analysis of the Process $\pi^+ + d \rightleftharpoons p + p$." *The Physical Review* 84, 581 (1951).

[51b] C.N. Yang. "Actual Path Length of Electrons in Foils." *The Physical Review* 84, 599 (1951).

[52a] C.N. Yang. "The Spontaneous Magnetization of a Two-Dimensional Ising Model." *The Physical Review* 85, 808 (1952).

[52b] C.N. Yang and T.D. Lee. "Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions. I. Theory of Condensation." *The Physical Review* 87, 404 (1952).

[52c] T.D. Lee and C.N. Yang. "Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions. Ⅱ. Lattice Gas and Ising Model." *The Physical Review* 87, 410 (1952).

[52d] C.N. Yang. "Letter to E. Fermi dated May 5, 1952." Unpublished.

[52e] C.N. Yang. "Special Problems of Statistical Mechanics, Part Ⅰ and Ⅱ." Lectures given at University of Washington, Seattle, April-July 1952. Notes Taken by F. J. Blatt and R. L. Cooper. Mimeographed and distributed by University of Washington.

[53a] C.N. Yang. "Report on Cosmotron Experiments." In *Proceedings of the International Conference on Theoretical Physics*. Tokyo: Science Council of Japan, 1954, p. 137.

[53b] Chen Ning Yang. "Recent Experimental Results at Brookhaven." *Proceedings of the International Conference*

on Theoretical Physics, p. 170. Science Council of Japan (Tokyo), 1954.

[54a] G.A.Snow, R.M.Sternheimer, and C.N.Yang. "Polarization of Nucleons Elastically Scattered from Nuclei." *The Physical Review* 94, 1073 (1954).

[54b] C.N.Yang and R.Mills. "Isotopic Spin Conservation and a Generalized Gauge Invariance." *The Physical Review* 95, 631 (1954).

[54c] C.N.Yang and R.L.Mills. "Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance." *The Physical Review* 96, 191 (1954).

[55a] C.N.Yang. "Talk at 1955 Rochester Conference, Session on High Energy Pion Phenomena." In *High Energy Nuclear Physics*, 1955. New York: Wiley-Interscience, 1955, pp. 37—38.

[55b] T.D.Lee and C.N.Yang. "Conservation of Heavy Particles and Generalized Gauge Transformations." *The Physical Review* 98, 1501 (1955).

[56a] K.M.Case, Robert Karplus, and C.N.Yang. "Strange Particles and the Conservation of Isotopic Spin." *The Physical Review* 101, 874 (1956).

[56b] K.M.Case, Robert Karplus, and C.N.Yang. "Experiments with Slow *K* Mesons in Deuterium and Hydrogen." *The Physical Review* 101, 358 (1956).

[56c] T.D.Lee and C.N.Yang. "Mass Degeneracy of the Heavy Mesons." *The Physical Review* 102, 290 (1956).

[56d] T.D.Lee and C.N.Yang. "Charge Conjugation, a New

Quantum Number G, and Selection Rules Concerning a Nucleon-Antinucleon System." *Il Nuovo Cimento* 10(3), 749 (1956).

[56e] C.N.Yang. "Introductory Talk at the 1956 Rochester Conference, Session on Theoretical Interpretation of New Particles." In *High Energy Nuclear Physics*, 1956. New York: Wiley-Interscience, 1956.

[56f] C.N.Yang. "*Expanding Universes* by E. Schrödinger." *Science* 124, 370 (1956).

[56g] Kerson Huang and C. N. Yang. "Quantum Mechanical Many-Body Hard Core Interactions." *Bulletin of the American Physical Society* 2(1), 222 (1956).

[56h] T.D.Lee and C.N.Yang. "Question of Parity Conservation in Weak Interactions." *The Physical Review* 104, 254 (1956).

[56i] T.D.Lee and C.N.Yang. "Possible Interference Phenomena Between Parity Doublets." *The Physical Review* 104, 822 (1956).

[57a] K.Huang and C. N. Yang. "Quantum Mechanical Many-Body Problem with Hard Sphere Interaction." *The Physical Review* 105, 776 (1957).

[57b] K.Huang, C. N. Yang, and J. M. Luttinger. "Imperfect Bose Gas with Hard Sphere Interaction." *The Physical Review* 105, 776 (1957).

[57c] K.M.Case, R.Karplus, and C.N.Yang. "A Reply to a Criticism by Mr. A. Gamba." *Il Nuovo Cimento* 5, 1004 (1957).

[57d] C. N. Yang. "Present Knowledge About the New Particles." Lecture given at the Seattle International Conference on Theoretical Physics, September 1956. *Reviews of Modern Physics* 29, 231 (1957).

[57e] T. D. Lee, Reinhard Oehme, and C. N. Yang. "Remarks on Possible Noninvariance Under Time Reversal and Charge Conjugation." *The Physical Review* 106, 340 (1957).

[57f] T. D. Lee and C. N. Yang. "Parity Nonconservation and a Two-Component Theory of the Neutrino." *The Physical Review* 105, 1671 (1957).

[57g] T. D. Lee and C. N. Yang. "Derivative Coupling for μ Meson Decay in a Two-Component Theory of the Neutrino." Unpublished.

[57h] T. D. Lee and C. N. Yang. "Many-Body Problem in Quantum Mechanics and Quantum Statistical Mechanics." *The Physical Review* 105, 1119 (1957).

[57i] T. D. Lee, Kerson Huang, and C. N. Yang. "Eigenvalues and Eigenfunctions of a Bose System of Hard Spheres and Its Low-Temperature Properties." *The Physical Review* 106, 1135 (1957).

[57j] T. D. Lee, J. Steinberger, G. Feinberg, P. K. Kabir, and C. N. Yang. "Possible Detection of Parity Nonconservation in Hyperon Decay." *The Physical Review* 106, 1367 (1957).

[57k] Chen Ning Yang. "Lois de Symétrie et Particules Étranges." Lecture given at Université de Paris, May

1957. Lecture notes taken by Froissard and Mandelbrojt. Unpublished.

[57l] T.D. Lee and C. N. Yang. "Errata: Question of Parity Conservation in Weak Interactions." *The Physical Review* 106, 1371 (1957).

[57m] Kerson Huang, C. N. Yang, and T. D. Lee. "Capture of μ^- Mesons by Protons." *The Physical Review* 108, 1340 (1957).

[57n] T.D. Lee and C.N. Yang. "Possible Nonlocal Effects in μ Decay." *The Physical Review* 108, 1611 (1957).

[57o] T.D. Lee and C.N. Yang. "General Partial Wave Analysis of the Decay of a Hyperon of Spin 1/2." *The Physical Review* 108, 1645 (1957).

[57p] T.D. Lee and C. N. Yang. *Elementary Particles and Weak Interactions*. BNL 443(T-91). Brookhaven National Laboratory, 1957.

[57q] Kerson Huang, T. D. Lee, and C. N. Yang. "Quantum Mechanical Many-Body Problem and the Low Temperature Properties of a Bose System of Hard Spheres." Lecture given at the Stevens Conference on the Many-Body Problem, January 1957. In *The Many-Body Problem*, ed. J. K. Percus. New York: Wiley-Interscience, 1963, p. 165.

[57r] Chen Ning Yang. "Le Problème a Plusieurs Corps en Mécanique Quantique et en Mécanique Statistique." Lecture given at Université de Paris, June 1957. Lecture notes taken by C. Bouchiat and A. Martin. Unpublished.

[57s] C.N. Yang. "The Law of Parity Conservation and Other

Symmetry Laws of Physics." In *Les Prix Nobel*. Stockholm: The Nobel Foundation, 1957, p. 95. Also in *Science* 127, 565 (1958).

[57t] C.N. Yang. "Speech at the Nobel Banquet, December 10, 1957." In *Les Prix Nobel*. Stockholm: The Nobel Foundation, 1957, p. 53.

[58a] T.D. Lee and C.N. Yang. "Possible Determination of the Spin of Λ^0 from Its Large Decay Angular Asymmetry." *The Physical Review* 109, 1755 (1958).

[58b] J. Bernstein, T.D. Lee, C.N. Yang, and H. Primakoff. "Effect of the Hyperfine Splitting of a μ-Mesonic Atom on Its Lifetime." *The Physical Review* 111, 313 (1958).

[58c] M. Goldhaber, T.D. Lee, and C.N. Yang. "Decay Modes of a ($\theta + \bar{\theta}$) System." *The Physical Review* 112, 1796 (1958).

[58d] T.D. Lee and C.N. Yang. "Low-Temperature Behavior of a Dilute Bose System of Hard Spheres. I. Equilibrium Properties." *The Physical Review* 112, 1419 (1958).

[59a] T.D. Lee and C.N. Yang. "Low-Temperature Behavior of a Dilute Bose System of Hard Spheres. II. Nonequilibrium Properties." *The Physical Review* 113, 1406 (1959).

[59b] T.D. Lee and C.N. Yang. "Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics. I. General Formulation." *The Physical Review* 113, 1165 (1959).

[59c] C.N. Yang. "Symmetry Principles in Modern Physics." Lecture given at the 75th Anniversary Celebration of Bryn Mawr College, Session on Symmetries, November 6,

1959. Unpublished.

[59d] T. D. Lee and C. N. Yang. "Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics. Ⅱ. Virial Expansion for Hard-Sphere Gas." *The Physical Review* 116, 25 (1959).

[60a] T. D. Lee and C. N. Yang. "Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics. Ⅲ. Zero-Temperature Limit for Dilute Hard Spheres." *The Physical Review* 117, 12 (1960).

[60b] T. D. Lee and C. N. Yang, "Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics. Ⅳ. Formulation in Terms of Average Occupation Number in Momentum Space." *The Physical Review* 117, 22 (1960).

[60c] T. D. Lee and C. N. Yang. "Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics. Ⅴ. Degenerate Phase in Bose-Einstein Condensation." *The Physical Review* 117, 897 (1960).

[60d] T. D. Lee and C. N. Yang. "Theoretical Discussions on Possible High-Energy Neutrino Experiments." *Physical Review Letters* 4, 307 (1960).

[60e] T. D. Lee and C. N. Yang. "Implications of the Intermediate Boson Basis of the Weak Interactions: Existence of a Quartet of Intermediate Bosons and Their Dual Isotopic Spin Transformation Properties." *The Physical Review* 119, 1410 (1960).

[60f] C. N. Yang. "The Many Body Problem." Lectures given at Latin American School of Physics, Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicás, Rio de Janeiro, June 27—August 7,

1960. *Lecture notes taken by* M. Bauer *et al*. In *Monografias de Fisica* Ⅵ. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, 1960.

[60g] C. N. Yang. "Imperfect Bose System." *Physica* 26, S49 (1960).

[60h] C. N. Yang. "Some Theoretical Implications of High-Energy Neutrino Experiments." Lecture given at Berkeley Conference on High Energy Physics Experimentation, September 12—14, 1960. Published in conference report. University of California, Berkeley, 1960.

[61a] C. N. Yang. Introductory Notes to the Article "Are Mesons Elementary Particles?" In *The Collected Papers of Enrico Fermi*, Vol. 2. Chicago: University of Chicago Press, 1965, p. 673.

[61b] T. D. Lee and C. N. Yang. "Some Considerations on Global Symmetry." *The Physical Review* 122, 1954 (1961).

[61c] N. Byers and C. N. Yang. "Theoretical Considerations Concerning Quantized Magnetic Flux in Superconducting Cylinders." *Physical Review Letters* 7, 46 (1961).

[61d] T. D. Lee, R. Serber, G. C. Wick, and C. N. Yang. "Some Theoretical Considerations on the Desirability of a 300 to 1000 BeV Proton Accelerator." In *Experimental Program Requirements for a 300—1000 BeV Accelerator*, BNL 772 (T-290), p. 15. Brookhaven National Laboratory, 1961.

[61e] T. D. Lee, P. Markstein, and C. N. Yang. "Production Cross Section of Intermediate Bosons by Neutrinos in the

Coulomb Field of Protons and Iron." *Physical Review Letters* 7, 429 (1961).

[61f] C. N. Yang. "The Future of Physics." Panel Discussion at the MIT Centennial Celebration, April 8, 1961. Unpublished.

[61g] F. Gursey and C. N. Yang. "S-State Capture in K^-p Atoms Colliding with H Atoms." Written in May 1961. Unpublished.

[62a] C. N. Yang. "Symposium Discussion, November 4, 1961, Washington, D. C. Applied Mathematics: What Is Needed in Research and Education?" *SIAM Review* 4, 297 (1962).

[62b] S. B. Treiman and C. N. Yang. "Tests of the Single-Pion Exchange Model." *Physical Review Letters* 8, 140 (1962).

[62c] C. N. Yang. *Elementary Particles, A Short History of Some Discoveries in Atomic Physics*. Princeton: Princeton University Press, 1962.

[62d] T. D. Lee and C. N. Yang. "High Energy Neutrino Reactions Without Production of Intermediate Bosons." *The Physical Review* 126, 2239 (1962).

[62e] M. E. Rose and C. N. Yang. "Eigenvalues and Eigenvectors of a Symmetric Matrix of 6*j* Symbols." *Journal of Mathematical Physics* 3, 106 (1962).

[62f] T. F. Hoang and C. N. Yang. *A Possible Method of Measuring the Fraction of $\Delta Q/\Delta S = -1$ Decay in the $K_1 - K_2$ Complex*. CERN Internal Report, 4010/TH. 276, May

28, 1962.

[62g] T.D. Lee and C. N. Yang. "Obituary for Dr. Shih-Tsun Ma." Unpublished.

[62h] C.N. Yang. "Talk at CERN, July 7, 1962." CERN preprint (1962).

[62i] T.D. Lee and C. N. Yang. "Theory of Charged Vector Mesons Interacting with the Electromagnetic Field." *The Physical Review* 128, 885 (1962).

[62j] C.N. Yang. "Concept of Off-Diagonal Long-Range Order and the Quantum Phases of Liquid He and of Superconductors." *Reviews of Modern Physics* 34, 694 (1962).

[63a] C.N. Yang. "Mathematical Deductions from Some Rules Concerning High-Energy Total Cross Sections." *Journal of Mathematical Physics* 4, 52 (1963).

[63b] C.N. Yang. "Some Properties of the Reduced Density Matrix." *Journal of Mathematical Physics* 4, 418 (1963).

[63c] C.N. Yang. "Remarks on Weak Interactions." In *Proceedings of the Eastern Theoretical Physics Conference*, ed. M.E. Rose. New York: Gordon & Breach, 1963.

[63d] R.J. Oakes and C. N. Yang. "Meson-Baryon Resonances and the Mass Formula." *Physical Review Letters* 11, 174 (1963).

[63e] C.N. Yang. "The Mass Formula of SU_3." In *Some Recent Advances in Basic Sciences*, Vol, 1. New York: Academic Press, 1966.

[64a] C. N. Yang. "Some Theoretical Considerations Concerning the Neutrino Experiments." *In Proceedings of The Weak Interaction Conference, Brookhaven National Laboratory*, BNL 837 (C-39), p. 249. Brookhaven National Laboratory, 1964.

[64b] C. N. Yang. "Computing Machines and High-Energy Physics." In *Proceedings of the IBM Scientific Computing Symposium on Large Scale Problems in Physics*, December 1963, p. 65. IBM, 1964.

[64c] N. Byers and C. N. Yang. "Physical Regions in Invariant Variables for n Particles and the Phase-Space Volume Element." *Reviews of Modern Physics* 36, 595 (1964).

[64d] N. Byers and C. N. Yang. "Phenomenological Analysis of Reactions Such as $K^- + p \to \Lambda + \omega$." *The Physical Review* 135, B796 (1964).

[64e] C. N. Yang and C. P. Yang. "Critical Point in Liquid-Gas Transitions." *Physical Review Letters* 13, 303 (1964).

[64f] Tai Tsun Wu and C. N. Yang. "Phenomenological Analysis of Violation of *CP* Invariance in Decay of K^0 and $\overline{K^0}$." *Physical Review Letters* 13, 380 (1964).

[64g] C. N. Yang. "Round-Table Discussion on High-Energy Physics. APS Washington Meeting." *Physics Today* 17, 50 (November 1964).

[64h] F. Dyson, A. Pais, B. Stromgren, and C. N. Yang. "To J. Robert Oppenheimer on His Sixtieth Birthday." *Reviews of Modern Physics* 36, 507 (1964).

[65a] Tai Tsun Wu and C. N. Yang. "Some Speculations Con-

cerning High-Energy Large Momentum Transfer Processes." *The Physical Review* 137, B708 (1965).

[65b] C.N. Yang. "Some Considerations Concerning Very High Energy Experiments." In *Nature of Matter: Purposes of High Energy Physics*, ed. Luke C. L. Yuan, BNL 888 (T-360), p. 74. Brookhaven National Laboratory, 1965.

[65c] C.N. Yang. "Report of the Theoretical Physics Panel to the Physics Survey Committee, February 20, 1965." In *Physics: Survey and Outlook, Reports on the Subfields of Physics*, p. 159. NAS, NRC, 1966.

[65d] C.N. Yang. "Phenomenological Description of *K* Decay." In *Proceedings of the International Conference on Weak Interactions*, p. 29. Argonne National Laboratory, 1965.

[65e] C.N. Yang. "Symmetry Principles in Physics." In *Vistas in Research*, Vol. 3. New York: Gordon & Breach, 1966. Also in *Physics Teachers* 5, 311 (October 1967).

[65f] N. Byers, S.W. MacDowell, and C.N. Yang. "*CP* Violation in *K* Decay." In *High Energy Physics and Elementary Particles*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1965, p. 953.

[65g] C.N. Yang. "Statement at Public Hearing, Subcommittee on Research Development, Radiation." *Congressional Record*, March 3, 1965.

[65h] C.N. Yang. "Speech on Last Day of Kyoto Conference, Commemorating the Thirtieth Anniversary of Meson Theory, September 30, 1965." Unpublished.

[66a] C.N. Yang and C. P. Yang. "One-Dimensional Chain of

Anisotropic Spin-Spin Interactions." *Physics Letters* 20, 9 (1966); (Errata) *Physics Letters* 21, 719 (1966).

[66b] N. Byers and C. N. Yang. "πp Charge-Exchange Scattering and a 'Coherent Droplet' Model of High-Energy Exchange Processes." *The Physical Review* 142, 976 (1966).

[66c] C. N. Yang. "Remarks at the Dedication of the Einstein Stamp, March 14, 1966." Unpublished.

[66d] C. N. Yang and C. P. Yang. "Ground State Energy of a Heisenberg-Ising Lattice." *The Physical Review* 147, 303 (1966).

[66e] C. N. Yang and C. P. Yang. "One-Dimensional Chain of Anisotropic Spin-Spin Interactions. I. Proof of Bethe's Hypothesis for Ground State in a Finite System." *The Physical Review* 150, 321 (1966).

[66f] C. N. Yang and C. P. Yang. "One-Dimensional Chain of Anisotropic Spin-Spin Interactions. II. Properties of the Ground State Energy Per Lattice Site for an Infinite System." *The Physical Review* 150, 327 (1966).

[66g] C. N. Yang and C. P. Yang. "One-Dimensional Chain of Anisotropic Spin-Spin Interactions. III. Applications." *The Physical Review* 151, 258 (1966).

[66h] R. L. Mills and C. N. Yang. "Treatment of Overlapping Divergences in the Photon Self-Energy Function." *Supplement of the Progress of Theoretical Physics* 37 and 38, 507 (1966).

[66i] C. N. Yang. "Summary of the Conference." In *Proceedings*

of the Conference on High Energy Two-Body Reactions. Stony Brook, 1966. Unpublished.

[66j] C.N.Yang. "Quantum Lattice Gas and the Heisenberg-Ising Antiferromagnetic Chain." In *Proceedings of the Eastern Theoretical Conference*. Providence, R.I.: Brown University, 1966, p. 215.

[67a] F. Abbud, B. W. Lee, and C. N. Yang. "Comments on Measuring *Re* (A_2/A_0) *in* $K^0 \to \pi\pi$ Decay." *Physical Review Letters* 18, 980 (1967).

[67b] T.T.Chou and C. N. Yang. "Some Remarks Concerning High Energy Scattering." In *High Energy Physics and Nuclear Structure*. Amsterdam: North-Holland, 1967, p. 384.

[67c] B.Sutherland, C.N.Yang, and C.P.Yang. "Exact Solution of a Model of Two-Dimensional Ferroelectrics in an Arbitrary External Electric Field." *Physical Review Letters* 19, 588 (1967).

[67d] T.T.Wu and C.N.Yang. "Some Solutions of the Classical Isotopic Gauge Field Equations." In *Properties of Matter Under Unusual Conditions*, eds. H. Mark and S. Fernbach. New York: Wiley-Interscience, 1969, p. 349.

[67e] C.N.Yang. "Some Exact Results for the Many-Body Problem in One Dimension with Repulsive Delta-Function Interaction." *Physical Review Letters* 19, 1312 (1967).

[68a] C.N.Yang. "*S* Matrix for the One-Dimensional *N*-Body Problem with Repulsive or Attractive Delta Function Interaction." *The Physical Review* 168, 1920 (1968).

[68b] T. T. Chou and C. N. Yang. "Model of Elastic High-Energy Scattering." *The Physical Review* 170, 1591 (1968).

[68c] T. T. Chou and C. N. Yang. "Possible Existence of Kinks in High-Energy Elastic *pp* Scattering Cross Section." *Physical Review Letters* 20, 1213 (1968).

[68d] T. T. Chou and C. N. Yang. "Model of High-Energy Elastic Scattering and Diffractive Excitation Processes in Hadron-Hadron Collisions." *The Physical Review* 175, 1832 (1968).

[68e] C. N. Yang, "General Review of Some Developments in High Energy Physics in Recent Years." Paper delivered at First Latin-American Congress, Mexico City, July 1968. In *Primer Congreso Latino Americano de Fisica*, 1968, p. 27.

[69a] C. N. Yang and C. P. Yang. "Thermodynamics of a One-Dimensional System of Bosons with Repulsive Delta-Function Interaction." *Journal of Mathematical Physics* 10, 1115 (1969).

[69b] M. Goldhaber and C. N. Yang, "The $K^0-\overline{K^0}$ System in $p-\overline{p}$ Annihilation at Rest." In *Evolution of Particle Physics*, ed. M. Conversi. New York: Academic Press, 1969, p. 171.

[69c] J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang, and E. Yen. "Hypothesis of Limiting Fragmentation in High-Energy Collisions." *The Physical Review* 188, 2159 (1969).

[69d] T. T. Chou and C. N. Yang. "Extrapolation of Elastic Differential πp Cross Section to Very High Energies and the

Pion Form Factor." *The Physical Review* 188, 2469 (1969).

[69e] C. N. Yang. "Hypothesis of Limiting Fragmentation." In *Proceedings of the Third International Conference on High Energy Collisions*. New York: Gordon & Breach, 1969, p. 509.

[69f] C. N. Yang, J. A. Cole, J. Good, R. Hwa, and J. Lee-Franzini, eds. *Proceedings of the Third Interantional Conference on High Energy Collisions*. New York: Gordon & Breach, 1969.

[70a] C. N. Yang. "Charge Quantization, Compactness of the Gauge Group, and Flux Quantization." *Physical Review D* 1, 2360 (1970).

[70b] C. N. Yang. "Some Exactly Soluble Problems in Statistical Mechanics." Lectures given at the Karpacz Winter School of Physics, February 1970. In *Proceedings of the* Ⅶ *Winter School of Theoretical Physics in Karpacz*. University of Wroclaw, 1970.

[70c] T. T. Chou and C. N. Yang. "Remarks About the Hypothesis of Limiting Fragmentation." *Physical Review Letters* 25, 1072 (1970).

[70d] C. N. Yang. "One-Dimensional Delta Function Interaction." Lecture given at the Battelle Institute Colloquium, September 1970. In *Critical Phenomena in Alloys, Magnates, and Superconductors*, eds. R. E. Mills, E. Ascher, and R. I. Jaffee. New York: McGraw-Hill, 1971, p. 13.

[70e] C. N. Yang. "Symmetry Principles." *Encyclopedia Americana*, 1970 edition. *S. v. physics*.

[70f] C. N. Yang. "High-Energy Hadron-Hadron Collisions." Lecture given at the Kiev Conference, August 1970. In *Proceedings of the Kiev Conference—Fundamental Problems of the Elementary Particle Theory*, p. 131. Academy of Sciences of the Ukranian SSR, 1970.

[70g] C. N. Yang. "Comments After Professor Brewer's Talk." In *Proceedings of the* Ⅷ *Winter School of Theoretical Physics in Karpacz*, University of Wroclaw, 1970.

[71a] C. K. Lai and C. N. Yang. "Ground State Energy of a Mixture of Fermions and Bosons in One Dimension with a Repulsive δ-Function Interaction." *Physical Review A* 3, 393 (1971).

[71b] C. N. Yang. "Introductory Note on *Phase Transitions and Critical Phenomena*." In *Phase Transitions and Critical Phenomena*, Vol. 1, eds. C. Domb and M. S. Green. New York: Academic Press, 1971, p. 1.

[71c] T. T. Chou and Chen Ning Yang. "Hadron Momentum Distribution in Deeply Inelastic *ep* Collisions." *Physical Review D* 4, 2005 (1971).

[72a] Chen Ning Yang. "Some Speculations on Colliding Beams of 100-GeV Protons and 15-GeV Electron-100-GeV Protons." In *Isabelle Physics Prospects*, BNL 17522. Brookhaven National Laboratory, 1972.

[72b] C. Quigg, Jiunn-Ming Wang, and Chen Ning Yang. "Multiplicity Fluctuation and Multiparticle Distribution

Functions in High-Energy Collisions." *Physical Review Letters* 28, 1290 (1972).

[72c] Chen Ning Yang. "Some Concepts in Current Elementary Particle Physics." Lecture given at the Trieste Conference in honor of P. A. M. Dirac, September 1972. In *The Physicist's Conception of Nature*, ed. J. Mehra. Dordrecht: D. Reidel, 1972, pp. 447—453.

[73a] T. T. Chou and Chen Ning Yang. "Charge Transfer in High-Energy Fragmentation." *Physical Review D* 7, 1425 (1973).

[73b] Alexander Wu Chao and Chen Ning Yang. "Opaqueness of *pp* Collisions from 30 to 1500 GeV/*c*." *Physical Review D* 8, 2063 (1973).

[73c] Chen Ning Yang. "Geometrical Description of the Structure of the Hadrons." Lecture given at the International Symposium on High Energy Physics, Tokyo, July 23, 1973. In *Proceedings of the International Symposium on High Energy Physics*, University of Tokyo, 1973, pp. 629—634.

[74a] Alexander Wu Chao and Chen Ning Yang. "Possible Relationship Between the Ratio π^+/π^- and the Average Multiplicity." *Physical Review D* 9, 2505 (1974).

[74b] Alexander Wu Chao and Chen Ning Yang. "Charge Correlation Between Two Pions in a Statistical Charge Distribution Among Hadrons." *Physical Review D* 10, 2119 (1974).

[74c] C. N. Yang. "Integral Formalism for Gauge Fields."

Physical Review Letters 33, 445 (1974).

[74d] Chen Ning Yang. "Relationship Between Correlation Function ρ_s and Fluctuation Phenomena." Unpublished.

[75a] H. T. Nieh, Tai Tsun Wu, and Chen Ning Yang. "Possible Interactions of the *J* Particle." *Physical Review Letters* 34, 49 (1975).

[75b] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Some Remarks About Unquantized non-Abelian Gauge Fields." *Physical Review D* 12, 3843 (1975).

[75c] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Concept of Nonintegrable Phase Factors and Global Formulation of Gauge Fields." *Physical Review D* 12, 3845 (1975).

[75d] Gu Chao-Hao and Yang Chen-Ning. "Some Problems on the Gauge Field Theories." *Scientia Sinica* 18, 483 (1975).

[75e] Chen Ning Yang. "Gauge Fields." In *Proceedings of Sixth Hawaiian Topical Conference in Particle Physics*. Honolulu: University of Hawaii Press, 1976, pp. 487—561.

[75f] Chen Ning Yang. "Meccanica Statistica." In *Enciclopedia del Novecento*, Vol, 4, 1979, p. 53.

[76a] T. T. Chou and Chen Ning Yang. "Hadronic Matter Current Distribution Inside a Polarized Nucleus and a Polarized Hadron." *Nuclear Physics* B107, 1 (1976).

[76b] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Static Sourceless Gauge Field." *Physical Review D* 13, 3233 (1976).

[76c] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Dirac Monopole

Without Strings: Monopole Harmonics." *Nuclear Physics* B 107, 365 (1976).

[76d] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Dirac's Monopole Without Strings: Classical Lagrangian Theory." *Physical Review D* 14, 437 (1976).

[76e] Chen Ning Yang. "Monopoles and Fiber Bundles." In *Understanding the Fundamental Constituents of Matter*, ed. A. Zichichi. New York: Plenum, 1976, p. 53.

[76f] Chen Ning Yang. "Discussions 'On Hadronic Current,' with Dr. Leader and Others." In *Understanding the Fundamental Constituents of Matter*, ed. A. Zichichi. New York: Plenum, 1976, p. 68.

[76g] C. N. Yang. "What Visits Mean to China's Scientists." In *Reflections on Scholarly Exchanges with the People's Republic of China*, ed. A. Keatley. Committee on Scholarly Communication with the People's Republic of China, 1976.

[77a] M. L. Good, Y. Kazama, and Chen Ning Yang. "Possible Experiments to Study Incoherent-Multiple-Collision Effects in Hadron Production from Nuclei." *Physical Review D* 15, 1920 (1977).

[77b] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang. "Some Properties of Monopole Harmonics." *Physical Review D* 16, 1018 (1977).

[77c] Y. Kazama, Chen Ning Yang, and A. S. Goldhaber. "Scattering of a Dirac Particle with Charge *Ze* by a Fixed Magnetic Monopole." *Physical Review D* 15, 2287 (1977).

[77d] Yoichi Kazama and Chen Ning Yang. "Existence of Bound

States for a Charged Spin 1/2 Particle with an Extra Magnetic Moment in the Field of a Fixed Magnetic Monopole." *Physical Review D* 15, 2300 (1977).

[77e] Chen Ning Yang. "Magnetic Monopoles, Fiber Bundles, and Gauge Fields." *Annals of the New York Academy of Sciences* 294, 86 (1977).

[77f] Chen Ning Yang. "Conformal Mapping of Gauge Fields." *Physical Review D* 16, 330(1977).

[77g] Chen Ning Yang. "Condition of Self-Duality for SU_2 Gauge Fields on Euclidean 4-Dimensional Space." *Physical Review Letters* 38, 1377 (1977).

[77h] Gu Chao-hao and Yang Chen-ning. "Some Problems on the Gauge Field Theories, Ⅱ." *Scientia Sinica* 20, 47 (1977).

[77i] Gu Chao-hao and Yang Chen-ning. "Some Problems on the Gauge Field Theories, Ⅲ." *Scientia Sinica* 20, 177 (1977).

[77j] C.N. Yang. "Speech at the Benjamin W. Lee Memorial Session." In *Unification of Elementary Forces and Gauge Theories*, eds. D.B. Cline and F.E. Mills, p. xiii. Harwood Academic Publishers, 1977.

[77k] Chen Ning Yang. "Symmetries in Physics." In *Unification of Elementary Forces and Gauge Theories*, eds. D.B. Cline and F. E. Mills, p. 3. Harwood Academic Publishers, 1977.

[78a] Chen Ning Yang. "Generalization of Dirac's Monopole to SU_2 Gauge Fields." *Journal of Mathematical Physics* 19,

320 (1978).

[78b] T. T. Chou and Chen Ning Yang. "Possible Existence of a Second Minimum in Elastic *pp* Scattering." *Physical Review D* 17, 1889 (1978).

[78c] Alexander W. Chao, Tai Tsun Wu, and Chen Ning Yang. "Some Inequalities in the Eikonal Approximation." In *Ta-You Wu Festschrift: Science of Matter*, ed. S. Fujita. New York: Gordon & Breach, 1978.

[78d] Chen Ning Yang. " Interaction of a Static Magnetic Monopole with a Dirac Positron." In *Proceedings of INS on New Particles and the Structure of Hadrons*, eds. K. Fujikawa et al. Institute for Nuclear Study, University of Tokyo, 1977.

[78e] Tu Tung-sheng, Wu Tai-tsun, and Yang Chen-ning. "Interaction of Electrons, Magnetic Monopoles, and Photons (Ⅰ)." *Scientia Sinica* 21, 317 (1978).

[78f] Ling-Lie Wang and Chen Ning Yang. "Classification of SU_2 Gauge Fields." *Physical Review D* 17, 2687 (1978).

[78g] Chen Ning Yang. "SU_2 Monopole Harmonics." *Journal of Mathematical Physics* 19, 2622 (1978).

[78h] Chen Ning Yang. "Developments in the Theory of Magnetic Monopoles." In *Proceedings of the 19th International Conference on High Energy Physics, Tokyo*, 1978, eds. S. Homma, M. Kawaguchi, and H. Miyazawa, p. 497. Physics Society of Japan, 1978.

[78i] Gu Chao-hao, Hu He-sheng, Shen Chun-li, and Yang Chen-ning, "A Geometrical Interpretation of Instanton So-

lutions in Euclidean Space." *Scientia Sinica* 21, 767 (1978).

[78j] Gu Chao-hao, Hu He-sheng, Li Da-qian, Shen Chun-li, Xin Yuan-long, and Yang Chen-ning. "Riemannian Spaces with Local Duality and Gravitational Instantons." *Scientia Sinica* 21, 475 (1978).

[78k] Chen Ning Yang. "Pointwise SO_4 Symmetry of the BPST Pseudoparticle Solution." In *Felix Bloch and Twentieth-Century Physics*, eds, M. Chodorow et al. Houston: Rice University, 1980.

[79a] T.T. Chou and Chen Ning Yang. "Elastic Hadron-Hadron Scattering at Ultrahigh Energies and Existence of Many Dips." *Physical Review D* 19, 3268 (1979).

[79b] Max Dresden and Chen Ning Yang. "Phase Shift in a Rotating Neutron or Optical Interferometer." *Physical Review D* 20, 1846 (1979).

[79c] Chen Ning Yang. "Fiber Bundles and the Physics of the Magnetic Monopole." In *The Chern Symposium* 1979, eds, W.Y.Hsiang et al., p. 247. Springer Verlag, 1980.

[79d] Chen Ning Yang. "Panel Discussion." In *Some Strangeness in the Proportion*, ed. H. Woolf. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1980, p. 500.

[79e] Chen Ning Yang. "Geometry and Physics." In *To Fulfill a Vision*, ed. Y. Ne'eman. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1981, pp. 3—11.

[80a] T.T.Chou and Chen Ning Yang. "Geometrical Model of Hadron Collisions." In *Proceedings of the 1980*

Guangzhou Conference on Theoretical Particle Physics. Beijing: Science Press, 1980, p. 317.

[80b] Chen-Ning Yang. "Einstein's Impact on Theoretical Physics." Lecture given at the Second Marcel Grossmann Meeting held in honor of the 100th Anniversary of the birth of Albert Einstein. *Physics Today* 33, 42 (June 1980). See also comments on R. Herman's letter to the editor, *Physics Today* 33, 11 (1980).

[80c] T. T. Chou and Chen Ning Yang. "Dip and Kink Structures in Hadron-Nucleus and Hadron-Hadron Diffraction Dissociation." *Physical Review D* 22, 610 (1980).

[80d] Chen Ning Yang and Chen Ping Yang. "Does Violation of Microscopic Time Reversal Invariance Lead to the Possibility of Entropy Decrease?" *Transactions of the New York Academy of Sciences* 40, 267 (1980).

已出版的有关杨振宁的书

(除[B89c]以外，不包括杨氏自己的著作)

(B77a) 《杨振宁博士旅马言论集》
谢诗坚编　槟城远东文化(马)有限公司(1977)

(B83a) R. Utiyama, book in Japanese. (Chapter 10 is about gauge theory.)

(B87a) 《大师访谈录》
江才健著　台北牛顿出版社(1987)

(B88a) 《宁拙毋巧》
潘国驹　韩川元编　明报出版社(1988)
世界科技出版社(1988)
牛顿出版公司(1988)

(B89a) 《足迹，杨振宁　李政道　丁肇中　李远哲成功之路》
《神州学人》杂志社编　北京语言学院出版社(1989)

(B89b) 《杨振宁演讲集》
宁平治　唐贤民　张庆华主编　南开大学出版社(1989)

(B89c) 《三十五年心路》
甘幼玶译　广西科学技术出版社(1989)

(B90a) 《学海无涯》
台北正中书局(1990)

(B90b) 《杨振宁》

徐胜兰、孟东明编著　　北京卓越出版公司(1990)
徐胜兰、孟东明编著　　香港三联书店(1993)
徐胜兰、孟东明编著　　台湾晓园出版社(1994)
徐胜兰、孟东明编著　　吉林科学技术出版社(1995)
徐胜兰、孟东明编著　　上海复旦大学出版社(1997)

(B92a)　《杨振宁谈科学发展》
张美曼编　　八方文化企业公司(1992)

(B92b)　《杨振宁评传》
甘幼玶著　　广西科学技术出版社(1992)

(B94a)　《海外学者论中国》
张劲夫主编　　华夏出版社(1994)

(B95a)　《求是基金会 1994》
陈庄主编　　(1995)

(B95b)　《*Chen Ning Yang—A Great Physicist of the Twentieth Century*》 Ed. by C. S. Liu and S. T. Yau, International Press, 1995

(B95c)　《科学巨星》——世界著名科学家评传丛书
李醒民主编　　陕西人民教育出版社(1995)

(B96a)　《杨振宁——20 世纪一位伟大的物理学家》
甘幼玶译　　广西师范大学出版社(1996)

中英文人名译名对照表

Abel, N. H	阿贝尔
Abers	阿伯斯
Abraham	阿伯拉哈姆
Adair	埃笛尔
Agnew, H. M.	阿格纽
Aharonov, Y.	阿哈罗诺夫
Aitken	阿德肯
Alexander	亚历山大
Allen, J. S.	阿仑
Allendoerfer	阿莱恩道厄夫
Allison, S. K.	萨姆·艾里逊
Alrarez	埃尔瑞兹
Alvarez, L. M.	阿尔瓦雷斯
Amaldi, E.	阿马尔第
Ambler, E.	安布勒
Ampère, A. M.	安培
Anderson, C. D.	安德森
Anderson, P. W.	安德逊
Argo, H. V.	阿尔戈
Arnold, W. R.	阿诺德
Artin	阿丁
Ashkin, J.	阿希根
Atiyan, M. F.	阿蒂亚
Bacon, F.	培根
Bach, J. S.	巴赫
Bagatskii, M. I.	巴格斯基
Bardeen, J.	巴丁
Barlow	巴娄
Baxter, R.	巴克斯特
Becquerel	贝克勒尔
Becker	贝克
Belavian	贝拉维安
Belavin, A. A.	贝拉文
Bell, J. S.	贝尔
Bethe, H. A.	贝特
Bhabba	巴巴
Blackett, P. M. S.	布莱克特
Blake, W.	布雷克
Bleuler	布劳勒
Bloch, F.	布洛赫
Block, M.	布洛克
Bohm, D.	博姆

Bohr, N. 玻尔
Boltzmann 波尔兹曼
Bonnet 波涅特
Borel, A. 波莱尔
Born, M. 玻恩
Bose, S. N. 玻色
Bouchiat 鲍开雅特
Bowen, L. S. 鲍恩
Bragg 布拉格
Brahe, T. 布拉赫
Breit, G. 勃来特
Bridge 布瑞奇
Bristol 布里斯托尔
Brose, Henry 布劳斯
Brown, L. M. 布朗
Brueckner, K. 布鲁克纳
Bucherer 贝克莱
Byers, N. 伯厄斯
Calabi 卡拉比
Calais 格罗瓦
Calvin, J. 加尔文
Carrier 凯里尔
Cartan, E. 嘉当
Catto 盖脱
Cauchy 柯西
Chadwick, J. 查德维克
Chamberlain, O. 张伯伦
Chambers, R. G. 钱伯斯
Chandrasekhar 钱德拉塞克
Chew, G. 丘
Christenson, J. H. 克里斯坦桑
Christian, R. 克里斯汀
Clebsch 克莱布施
Cocconi, G. 柯库尼
Collins, G. B. 柯林斯
Compton, A. H. 康普顿
Condon, E. U. 康登
Cooper, L. N. 库柏
Copernicus, N. 哥白尼
Coulomb 库仑
Courant, E. 恩乃斯特·库朗特
Cox 柯克斯
Crane, H. R. 克莱恩
Crease, R. P. 克里丝
Crick 克里克
Cromwell 克伦威尔
Cronin, J. W. 克劳宁
Curie 居里
d'Alembert 达朗贝尔
Dalitz, R. 达立兹
Davis, R. 戴维斯
Deaver, B. S. 第弗尔
De Boer, J. 德波尔
De Broglie, L. V. 德布罗意

Delsasso, L. A.	德尔赛色
De Rahm	德·拉姆
De Marcus, W.C.	迪马卡斯
Descartes	笛卡尔
d' Espagnat	德斯培纳特
Dickson, L.E.	狄克逊
Dirac, P. A. M.	狄拉克
Domb, C.	道姆
Donaldson, S.	唐纳森
Douglas, R.	道格拉斯
Dresden, M.	特莱斯顿
Drinfeld, V.	德林菲尔德
Dyson, F.J.	戴逊
Eddington, A. S.	爱丁顿
Einstein, A.	爱因斯坦
Ekspong, G.	爱克斯朋
Eliot, T.S.	埃利奥特
Ellis, C.D.	埃利斯
Enatsu	埃纳错
Euclid	欧几里得
Fabri, E.	法布芮
Faddeev, L. D.	法捷也夫
Fairbank, W.M.	费尔班克
Faraday, M.	法拉第
Farwell, G. W.	法韦耳
Fedorov	费多洛夫
Fermat	费马
Fermi, E.	费米
Feynman, R.P.	费曼
Fierz, M.	费尔兹
Figenbaun	费根邦
Fisher, M.	费希
Fitch	费奇
FitzGerald, G.F.	菲茨杰拉德
Fleche	费莱开
Fock, V.A.	福克
Foppl	福普
Forman, P	福尔曼
Fourier	傅里叶
Fowler, R. H.	福勒
Freedman, J.	费雷德曼
Frost, R.	费罗斯特
Fuchs	富契
Fues	费斯
Furry	法雷
Gaillard	介雅德
Galois	伽罗瓦
Gamow, G.	伽莫夫
Garwin, R. L.	戈文
Gauss, C. F.	高斯
Gell-Mann, M.	盖尔曼
Gibbs, W.	吉布斯
Glashow, S. L.	格拉肖
Goldberger, M. L.	戈德伯格

Goldhaber	戈德哈伯
Goldstine, H.	戈德斯坦
Goudsmit, S.	戈特斯密特
Gordon	戈登
Gray, L.H.	格雷
Greenberg	格林伯格
Greenspan, H.P.	格林斯潘
Greisen	格雷逊
Grodzins, L.	李·格劳翠斯
Gromov, M.	格罗莫夫
Groves, R.	格若夫斯
Gupta	古普塔
Gürsey	古尔塞
Hadamard	哈德马德
Hafstad, L.R.	霍夫斯塔德
Halban	哈尔本
Halpern, J.	海尔帕恩
Halsman	海尔斯曼
Hamilton, W.R.	哈密顿
Hanle, P.	哈恩利
Hardy, G.H.	哈代
Harvey	哈维
Hayakawa, S.	早川幸男
Hayward, R.W.	海沃德
Haxby, R.O.	哈克斯拜
Heaviside, O.	亥维赛德
Heineman	海涅曼
Heisenberg, W.	海森堡
Heitler, W.	海特勒
Helmholtz	亥姆霍兹
Henderson, W.J.	海德逊
Hendry, J.	亨德里
Hermann, R.	赫尔曼
Hertz, H.	赫兹
Heydenburg, N.P.	海登伯格
Higgs, P.W.	希格斯
Hinchin, N.J.	希钦
Hinton, J.	寒春
Hilbert, D.	希尔伯特
Hofstadter, R.	霍夫斯塔特
Hopf	霍普夫
Hoppes, D.D.	霍普斯
Houston, W.V.	豪斯顿
Huang, Kerson	黄克孙
Hudson, R.P.	赫德逊
Hulthén, L.	赫尔谈
Hume, D.	休谟
Hupfeld, H.H.	霍普费尔德
Infeld	英费尔德
Inoue	井上
Ivanienko	伊凡年科
Iwanenko	伊凡年柯
Jacobi	雅科比
Jacobson	杰可伯逊

Joliot, F.	约里奥
Jones	琼斯
Jose	乔斯
Johnson, L.	约翰逊
Johnson, T. H.	约翰逊
Jordan. P.	约尔丹
Josephson	约瑟夫逊
Jost, R.	乔斯特
Kac, M.	卡斯
Kahn, B.	卡恩
Kaluza	卡鲁札
Kammer	卡姆
Karlgren	卡琼
Karplus	卡布拉斯
Kaufman, B.	考夫曼
Keatly, Anne	安娜·凯利
Kelvin, Lord	开尔文
Kepler, J.	开普勒
Keynes	凯恩斯
Kirchhoff	克尔基霍夫
Klein, O.	克莱茵
Klug	克鲁格
Kobayashi	小林
Konopinski	柯诺平斯基
Kra, I.	克拉
Kramers, H. A.	克拉默
Krein, M. G.	克雷因
Krisch, A. D.	克里斯契
Kroll, N.	克劳尔
Kuhn, T.	库恩
Kusch, P.	库什
Lagrange	拉格朗日
Lamb, W.	兰姆
Landau, L. D.	朗道
Lande	朗德
Laplace	拉普拉斯
Laporte, O.	奥托·拉波蒂
Larmor	拉摩
Laue, M. V.	劳埃
Lawson, B.	劳森
Lazarus, D.	拉扎若斯
Lederman, L. M.	莱德曼
Lee, B. W.	李昭辉
Leighton	莱顿
Leipunski	雷帕恩斯基
Levi-Civita, T.	列维—西维塔
Levine, H.	列文
Lieb, E. H.	李勃
Lindenbaum	林敦巴姆
Liniger, W.	林尼杰
Lipkin, H. J.	李普肯
Littlewood	李特尔屋德
Lloyd, S.	劳依德
Locher, G. L.	劳其尔

London, F.	伦敦
Loos, H.G.	卢斯
Lord	劳德
Lorentz, H.A.	洛伦兹
Louis, V.	路易士
Lubkin, E.	卢布金
Lüders, G.	吕德斯
Luttinger, J.M.	路丁格
Lyman, E.M.	莱曼
Mach, Ernst	马赫
Mackey	麦凯
Maglic	麦格里克
Majorana, E.	麦杰拉纳
Malus	麦拉斯
Mandelstam, S.	曼德斯塔姆
Manin	马宁
Mann, C.C.	曼恩
Maric, M.	米兰蛙·玛丽克
Marshak, R.E.	马尔夏克
Martin	马丁
Maskawa	益川
Matsubara, T.	松原
Maxwell, J.C.	麦克斯韦
Mayer, J.E.	约瑟夫·迈耶
Mayer, M.E.	迈耶
Mayer, M.G.	迈耶
McGuire, J.B.	麦克瓜谔
McMillan, E.	麦克米伦
Mehra, J.	梅拉
Mei	梅
Meitner, L.	迈特纳
Mel	麦尔
Merzbacher, E.	墨士拜契
Michelson, A.A.	迈克尔逊
Michel, L.	米协尔
Millikan, R.A.	密里根
Minkowski	闵可夫斯基
Mills, R.E.	密耳斯
Mills, R.L.	米尔斯
Moebius	缪毕乌斯
Montroll, E.	蒙脱
Mori, S.	森重文
Morley	莫雷
Morrish, A.	莫芮什
Mott, N.E.	莫特
Moyer, D.F.	莫厄
Mulliken, Robet	米立根
Murnaghan, F.D.	莫纳汉
Murphy, G.M.	墨菲
Nambu	纳姆波
Napier	纳皮尔
Neddermeyer, S.H.	尼特迈耶尔
Ne'eman, Y.	尼曼

Nernst	内恩斯特	Popov, V.N.	波波夫
Neumann	纽曼	Primakoff	布维马克夫
Newton, I.	牛顿	Rabi, I.I.	拉比
Nichols	尼科尔	Raman, V.V.	拉曼
Nishijima	西岛和彦	Ramanujan	拉马努杰恩
Nishina	仁科	Rasetti	拉赛第
Noyes	诺依斯	Rechenberg, H.	雷亨伯格
Occhialini	奥克里尼	Regge	雷杰
Oedipus	奥迪帕斯	Reitz, J.R.	芮茨
Oehme, R.	欧米	Ricci, M.	利玛窦
Oersted, H.C.	奥斯特	Riemann	黎曼
Onsager, L.	昂萨格	Ringo, R.	雷恩格
Oppenheimer, J.R.	奥本海默	Roberts, R.B.	罗伯兹
Orear, J.	奥里尔	Robson	罗伯逊
Pais, A.	佩斯	Rodeback, G.W.	楼德拜克
Pauli, W.	泡利	Rosario, L. del	罗萨芮奥
Peierls, R.	佩尔斯	Rose, M.E.	鲁斯
Penrose, R.	彭罗斯	Rosenbluth, M.N.	罗森布鲁思
Peshkin	帕斯肯	Rosenfeld, A.H.	罗森菲尔德
Piccioni, O.	彼斯奥尼	Rosner	罗斯纳
Planck, M.	普朗克	Rosenthal, J.E.	罗森塔耳
Plessett, M .S.	普莱赛特	Rubbia, C.	鲁比亚
Poincare	彭加勒	Rumbaugh, L.H.	龙堡赫
Polya, G.	普利亚	Russel	拉赛尔
Polyakov	泡利雅柯夫	Rutherford, E.	卢瑟福
Pond, T.A.	邦德	Sabra	撒布若
Pope, A.	波普	Sachs	萨彻斯

Sah, C.H.	萨之汉	Snyder, H.	席特
Sakata	坂田昌一	Sommerfeld	索末菲
Sakharov	萨哈罗夫	Sophus-Lie	索菲斯·李
Sakurai, J.J.	樱井	Souriau	索里奥
Salam, A.	萨拉姆	Speiser, A.	斯派塞
Samios, Nick	尼克·萨莫斯	Speiser, D.	斯派泽
Schawlow	肖洛	Spencer, H.	斯宾塞
Schluter, R.E.	斯克鲁特	Stark, Johannes	斯塔克
Schonflies	申费里斯	Steenrod, N.E.	斯廷罗德
Schönberg	熊伯格	Steinberger, J.	斯坦伯格
Schrieffer, J.R.	施赖弗	Sternheimer, R.M.	斯顿海默
Schrödinger, E.	薛定谔	Stokes	斯托克司
Schwartz, M.	施瓦茨	Stone, Marshall	马歇尔·斯通
Schwinger, J.	施温格	Sudarshan, E.C.G.	苏达山
Seaberg	西伯格	Sutherland, B.	塞兹兰
Segrè	西格芮	Taketani	武谷
Seitz	赛兹	Tamm, I.	塔姆
Selberg, A.	塞尔伯格	Tarrant, G.T.P.	泰伦特
Selove, W.	塞洛夫	Taubes	陶布思
Serber, R.	舍勃	Telegdi, V.L.	泰勒格第
Shortley, G.H.	肖特勒	Teller, E.	泰勒
Shoupp, W.E.	索普	Thomson, W.	汤姆逊
Shutt, R.P.	舒特	tHooft, G.	特霍夫特
Simons, J.	西蒙斯	Thomas	托马斯
Singer, I.M.	辛格	Tiomno, J.	蒂欧姆诺
Smith, P.B.	施密斯	Toll, J.S.	托尔
Snow, C.P.	斯诺	Tomonaga. S.	朝永振一郎

Zeeman, P.	塞曼
Zweig, George	乔治·兹外